



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y GEOQUÍMICA

**BASES CIENTÍFICO TÉCNICAS PARA EL DISEÑO
DE LA RED DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL
AGUA EN EL ENTORNO MARÍTIMO PORTUARIO
DE CARTAGENA (MURCIA)**

TESIS DOCTORAL

Estibaliz López-Samaniego Palomino

Madrid, noviembre de 2007



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y GEOQUÍMICA

BASES CIENTÍFICO TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE LA RED DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL ENTORNO MARÍTIMO PORTUARIO DE CARTAGENA (MURCIA)

Tesis Doctoral presentada por Estibaliz López-Samaniego Palomino para la
obtención del título de Doctor por la Universidad Autónoma de Madrid

Dirigida por la Doctora Isabel Herráez Sánchez de las Matas

Visto bueno de la directora:

Dra. Isabel Herráez Sánchez de las Matas

Madrid, noviembre 2007

AGRADECIMIENTOS

Durante los años de trabajo en esta Tesis Doctoral son muchas las personas que directa e indirectamente me han prestado su ayuda y a las cuales quiero agradecer su apoyo.

Esta Tesis Doctoral ha sido realizada gracias a las ayudas PROFIT del Ministerio de Educación y Ciencia y del Ministerio de Industria y Energía, sustanciadas en la concesión de los proyectos FIT-050000-2003-24 y FIT-310100-2004-12.

Agradecer al Ente Público de Puertos del Estado en la persona de D. Andrés Guerra Sierra y a la Autoridad Portuaria de Cartagena en las personas de D. Fermín Rol y D. Rafael Cano por su apuesta firme y disponibilidad para la realización de esta Tesis, así como al personal del Departamento de Seguridad, Calidad y Medioambiente de la Autoridad Portuaria de Cartagena y en especial a la tripulación del “Isla de Escombreras” (Pedro, Juan, Moracho y Manolo) sin cuya experiencia, colaboración y buen humor no hubiese sido posible el desarrollo de las campañas de muestreo.

A Xavier Romo responsable del Departamento de Medio Ambiente de la Autoridad Portuaria de Barcelona quiero agradecerle los consejos y apoyo que siempre me ha brindado ayudándome a entender el día a día de los puertos.

Los trabajos que sirven de base a esta Tesis han sido desarrollados en el Departamento de Geología y Geoquímica de la Universidad Autónoma de Madrid, donde he realizado la totalidad de mis estudios, incluyendo el programa de doctorado, durante todo este tiempo he recibido el apoyo de los miembros del departamento a los cuales quiero agradecer sus inyecciones de ánimo, en especial a la Profesora Victoria Cala, al Profesor Jaime Cuevas y al Director del Departamento José Manuel González Casado.

En estos años los miembros del despacho 406 han demostrado una paciencia infinita con las necesidades de desarrollo de este trabajo, además de brindarme una ayuda inestimable estando siempre dispuestos a escucharme y buscar soluciones a los mil y un problemas planteados, por ello merecen especial mención los Profesores Jerónimo López Martínez y Javier González Yélamos. Además de mis compañeros y amigos que han compartido las horas de trabajo día a día y sin los cuales no hubiese sido posible el total desarrollo de esta Tesis M^a José Ojeda, Ana Cabrerizo, Alberto Morán, Begoña Palomino, Beatriz Arrese, Sandra Mink y Marina González.

Al Doctor Ramón Redondo y la Doctora Rosa Sedano del Servicio Interdepartamental de Investigación de la Universidad Autónoma de Madrid por poner a mi disposición sus conocimientos y equipos.

Mi más sincero agradecimiento a la Doctora Rocío Millán del Departamento de Medio Ambiente del CIEMAT por su colaboración en la analítica de mercurio y sedimentos y sobre todo por su arrolladora personalidad. También a M^a José Sierra por haber dedicado su tiempo a las muestras que conforman esta Tesis a pesar de los mil y un problemas que le han ocasionado.

A mis compañeros Silvia Gallego, Raquel Arenas, Loreto García y Jerónimo Martínez por sus aportaciones en diferentes momentos de la elaboración de la Tesis y sobre todo por su amistad.

Esta Tesis forma parte de un proyecto más amplio en el cual están involucrados otros dos investigadores que han compartido cada momento de trabajo y muchos personales, por su paciencia, ayuda y sobre todo amistad quiero agradecer a Irene Malonda y Francisco Javier Miranda el privilegio de trabajar en equipo con ellos.

A mi hermana Izaskun por tener la paciencia de guiarme en el oscuro mundo de la estadística y estar siempre disponible, a mi madre por retarme a terminar esta Tesis Doctoral por esos mil motivos que ella tan bien explica, a mi aita por tener la paciencia de aguantarnos, a Joseba por dejarme sus juguetes informáticos y a mi centenaria abuela por ser la mejor niñera del mundo.

Finalmente quiero agradecer a la persona que más a confiado en mí dándome la oportunidad de adentrarme en la investigación de su mano, poniendo a mi disposición sus conocimientos, su tiempo y su inagotable entusiasmo. La persona que me ha formado como profesional y también como persona, gracias a la cual tengo mi pequeña familia. La persona que no solo ha aportado calidad y rigor a esta Tesis, si no las dosis necesarias de comprensión e impulso que todos necesitamos en determinados momentos, todo mi agradecimiento, respeto y cariño para Isabel Herráez auténtico pilar de esta Tesis y de mi vida.

Es justo pedir disculpas a mi pequeña familia por el tiempo robado para elaborar este trabajo, espero que cuando en el futuro Alvaro y Javier estén en circunstancias parecidas yo también sepa comprender.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	5
3. ANTECEDENTES	7
4. GESTIÓN PORTUARIA; COMPETENCIAS Y SERVICIOS	11
5. ENCUADRE GEOGRÁFICO E HISTÓRICO	15
5.1. Breve Descripción Histórica	15
5.2. Evolución del Puerto de Cartagena	19
5.3. Impactos potenciales	22
5.3.1. <u>Tráfico portuario y operaciones de carga y descarga</u>	22
5.3.2. <u>Actividades Industriales</u>	24
5.3.2.1. Actividades Industriales históricas	24
5.3.2.2. Actividades Industriales actuales	30
5.3.3. <u>Dragados</u>	32
6. MEDIO FÍSICO	33
6.1. Climatología	33
6.2. Geología y Geomorfología	34
6.2.1. <u>Litoral emergido</u>	34
6.2.2. <u>Litoral sumergido</u>	37
6.3. Hidrodinámica	40
7. METODOLOGÍA	43
7.1. Metodología de muestreo	43
7.1.2. <u>Parámetros a determinar “in situ” en aguas</u>	52
7.1.3. <u>Parámetros a determinar en laboratorio</u>	53
7.2. Metodología analítica	54
7.2.1. <u>Aguas</u>	54
7.2.1.1. Parámetros Físico-Químicos	54
7.2.1.2. Nutrientes	58
7.2.1.3. Aniones Mayoritarios	60
7.2.1.4. Cationes Mayoritarios	61
7.2.1.5. Metales Pesados	62
7.2.1.6. Hidrocarburos Totales	62

	Pág.
7.2.2. <u>Sedimentos</u>	64
7.2.2.1. Metales Pesados	64
7.2.2.2. Relación C/N	64
7.2.2.3. PAH's	65
8. ELABORACIÓN DE RESULTADOS	67
8.1. Control de calidad de los análisis	67
8.1.1. <u>Error Analítico</u>	67
8.1.2. <u>Duplicado de muestras</u>	67
8.2. Comprobación de los valores de salinidad	68
8.3. Tratamiento estadístico de datos	70
8.3.1. <u>Estadística descriptiva</u>	70
8.3.2. <u>Histogramas de frecuencias</u>	73
8.3.3. <u>Estadística multivariante</u>	73
8.3.3.1. Análisis de Componentes Principales (ACP)	74
8.3.3.2. Análisis de Conglomerados	78
8.4. Resultados Analíticos	89
8.4.1. <u>Aguas</u>	89
8.4.1.1. Parámetros Físico-Químicos	89
8.4.1.2. Elementos mayoritarios	146
8.4.1.3. Metales Pesados	203
8.4.1.4. Nutrientes	250
8.4.1.5. Hidrocarburos Totales	280
8.4.2. <u>Sedimentos</u>	284
8.4.2.1. Metales Pesados	284
8.4.2.2. Relación C/N	304
8.4.2.3. PAH's	306
9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	309
9.1. Calidad de las Aguas y Niveles de Referencia	309
9.2. Objetivos de Calidad para Metales Pesados en las Aguas	326
9.3. Calidad de los Sedimentos	333
9.3.1. <u>Metales Pesados y Objetivos de Calidad</u>	333
9.3.2. <u>PAH's</u>	347

	Pág.
10. CONCLUSIONES	351
10.1. Selección de la zona de estudio	351
10.2. Selección de los Parámetros de Calidad de Mayor Relevancia	352
10.3. Descripción de las Variaciones Observadas en las Masas de Agua	353
10.4. Descripción de la Calidad de los Sedimentos en Relación con las Aguas	355
10.5. Bases Científicas para el Establecimiento de una Red de Control Operativa	358
10.6. Estado de Calidad Actual y Propuesta de Medidas de Mejora	361
11. BIBLIOGRAFÍA	363

ANEXO I: MAPA PUERTO DE CARTAGENA

ANEXO II: TABLAS DE RESULTADOS ANALÍTICOS

ANEXO III: MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE PARÁMETROS ANALÍTICOS

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO I:	
• Mapa 1: Puerto de Cartagena	I-I
ANEXO II: Tablas de resultados analíticos	
• Tabla A. Resumen de las muestras tomadas	II-I
• Figura A. Red de muestreo	II-II
• Tabla 1 de resultados físico-químicos 1º muestreo	II-III
• Tabla 2 de resultados físico-químicos 2º muestreo	II-V
• Tabla 3 de resultados físico-químicos 3º muestreo	II-VIII
• Tabla 4 de resultados físico-químicos 4º muestreo	II-XI
• Tabla 5 de resultados iones mayoritarios 1º muestreo	II-XIII
• Tabla 6 de resultados iones mayoritarios 2º muestreo	II-XV
• Tabla 7 de resultados iones mayoritarios 3º muestreo	II-XVIII
• Tabla 8 de resultados iones mayoritarios 4º muestreo	II-XXI
• Tabla 9 de resultados metales 1º muestreo	II-XXIII
• Tabla 10 de resultados metales 2º muestreo	II-XXV
• Tabla 11 de resultados metales 3º muestreo	II-XXVIII
• Tabla 12 de resultados metales 4º muestreo	II-XXXI
• Tabla 13 de resultados nutrientes y HCT 1º muestreo	II-XXXIII
• Tabla 14 de resultados nutrientes y HCT 2º muestreo	II-XXXV
• Tabla 15 de resultados nutrientes y HCT 3º muestreo	II-XXXVIII
• Tabla 16 de resultados nutrientes y HCT 4º muestreo	II-XLI
• Tabla 17 de resultados metales en sedimentos 1º muestreo	II-XLIII
• Tabla 18 de resultados metales y relación C/N en sedimentos 2º muestreo	II-XLIV
• Tabla 19 de resultados metales y relación C/N en sedimentos 3º muestreo	II-XLVI
• Tabla 20 de resultados de metales y relación C/N en sedimentos 4º muestreo	II-XLVIII
• Tabla 21 de resultados de PAH's en sedimentos 1º muestreo	II-XLIV
• Tabla 22 de resultados de PAH's en sedimentos 3º muestreo	II-L

	Pág.
ANEXO III: Mapas de distribución de parámetros analíticos	
• Figura 1. Mapas de distribución de temperatura para el 3º muestreo	III-III
• Figura 2. Mapas de distribución de temperatura para el 4º muestreo	III-IV
• Figura 3. Mapas de distribución de C.E. para el 3º muestreo	III-V
• Figura 4. Mapas de distribución de C.E. para el 4º muestreo	III-VI
• Figura 5. Mapas de distribución de salinidad para el 1º muestreo	III-VII
• Figura 6. Mapas de distribución de salinidad para el 2º muestreo	III-VIII
• Figura 7. Mapas de distribución de temperatura para el 3º muestreo	III-IX
• Figura 8. Mapas de distribución de salinidad para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad	III-X
• Figura 9. Mapas de distribución de turbidez para el 1º muestreo	III-XI
• Figura 10. Mapas de distribución de turbidez para el 2º muestreo	III-XII
• Figura 11. Mapas de distribución de turbidez para el 4º muestreo	III-XIII
• Figura 12. Mapas de distribución de clorofila A para el 1º muestreo	III-XIV
• Figura 13. Mapas de distribución de redox para el 1º muestreo	III-XV
• Figura 14. Mapas de distribución de redox para el 2º muestreo	III-XVI
• Figura 15. Mapas de distribución de redox para el 3º muestreo	III-XVII
• Figura 16. Mapas de distribución de redox para el 4º muestreo	III-XVIII
• Figura 17. Mapas de distribución de oxígeno disuelto para el 1º muestreo	III-XIX
• Figura 18. Mapas de distribución de oxígeno disuelto para el 2º muestreo	III-XX

	Pág.
• Figura 19. Mapas de distribución de oxígeno disuelto para el 3º muestreo	III-XXI
• Figura 20. Mapas de distribución de oxígeno disuelto para el 4º muestreo	III-XXII
• Figura 21. Mapas de distribución de carbonatos para el 1º muestreo	III-XXIII
• Figura 22. Mapas de distribución de carbonatos para el 2º muestreo	III-XXIV
• Figura 23. Mapas de distribución de carbonatos para el 3º muestreo	III-XXV
• Figura 24. Mapas de distribución de carbonatos para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad	III-XXVI
• Figura 25. Mapas de distribución de bicarbonatos para el 1º muestreo	III-XXVII
• Figura 26. Mapas de distribución de bicarbonatos para el 2º muestreo	III-XXVIII
• Figura 27. Mapas de distribución de bicarbonatos para el 3º muestreo	III-XXIX
• Figura 28. Mapas de distribución de bicarbonatos para el 4º muestreo	III-XXX
• Figura 29. Mapas de distribución de sulfatos para el 1º muestreo	III-XXXI
• Figura 30. Mapas de distribución de sulfatos para el 2º muestreo	III-XXXII
• Figura 31. Mapas de distribución de sulfatos para el 3º muestreo	III-XXXIII
• Figura 32. Mapas de distribución de sulfatos para el 4º muestreo	III-XXXIV
• Figura 33. Mapas de distribución de cloruros para el 1º muestreo	III-XXXV
• Figura 34. Mapas de distribución de cloruros para el 2º muestreo	III-XXXVI
• Figura 35. Mapas de distribución de cloruros para el 3º muestreo	III-XXXVII
• Figura 36. Mapas de distribución de cloruros para el 4º muestreo	III-XXXVIII
• Figura 37. Mapas de distribución de calcio para el 1º muestreo	III-XXXIX

	Pág.
• Figura 38. Mapas de distribución de calcio para el 2º muestreo	III-XL
• Figura 39. Mapas de distribución de calcio para el 3º muestreo	III-XLI
• Figura 40. Mapas de distribución de calcio para el 4º muestreo	III-XLII
• Figura 41. Mapas de distribución de magnesio para el 1º muestreo	III-XLIII
• Figura 42. Mapas de distribución de magnesio para el 2º muestreo	III-XLIV
• Figura 43. Mapas de distribución de magnesio para el 3º muestreo	III-XLV
• Figura 44. Mapas de distribución de magnesio para el 4º muestreo	III-XLVI
• Figura 45. Mapas de distribución de sodio para el 1º muestreo	III-XLVII
• Figura 46. Mapas de distribución de sodio para el 2º muestreo	III-XLVIII
• Figura 47. Mapas de distribución de sodio para el 3º muestreo	III-XLIX
• Figura 48. Mapas de distribución de sodio para el 4º muestreo	III-L
• Figura 49. Mapas de distribución de potasio para el 1º muestreo	III-LI
• Figura 50. Mapas de distribución de potasio para el 2º muestreo	III-LII
• Figura 51. Mapas de distribución de potasio para el 3º muestreo	III-LIII
• Figura 52. Mapas de distribución de potasio para el 4º muestreo	III-LIV
• Figura 53. Mapas de distribución de hierro para el 1º muestreo	III-LV
• Figura 54. Mapas de distribución de hierro para el 2º muestreo	III-LVI
• Figura 55. Mapas de distribución de hierro para el 3º muestreo	III-LVII
• Figura 56. Mapas de distribución de hierro para el 4º muestreo	III-LVIII

	Pág.
• Figura 57. Mapas de distribución de zinc para el 1º muestreo	III-LIX
• Figura 58. Mapas de distribución de zinc para el 2º muestreo	III-LX
• Figura 59. Mapas de distribución de zinc para el 3º muestreo	III-LXI
• Figura 60. Mapas de distribución de zinc para el 4º muestreo	III-LXII
• Figura 61. Mapas de distribución de cobre para el 1º muestreo	III-LVIII
• Figura 62. Mapas de distribución de cobre para el 2º muestreo	III-LXIV
• Figura 63. Mapas de distribución de cobre para el 3º muestreo	III-LXV
• Figura 64. Mapas de distribución de cobre para el 4º muestreo	III-LXVI
• Figura 65. Mapas de distribución de cadmio para el 1º muestreo	III-LXVII
• Figura 66. Mapas de distribución de cadmio para el 2º muestreo	III-LXVIII
• Figura 67. Mapas de distribución de cadmio para el 3º muestreo	III-LXIX
• Figura 68. Mapas de distribución de cadmio para el 4º muestreo	III-LXX
• Figura 69. Mapas de distribución de plomo para el 1º muestreo	III-LXXI
• Figura 70. Mapas de distribución de plomo para el 2º muestreo	III-LXXII
• Figura 71. Mapas de distribución de plomo para el 3º muestreo	III-LXXIII
• Figura 72. Mapas de distribución de plomo para el 4º muestreo	III-LXXIV
• Figura 73. Mapas de distribución de fosfatos para el 1º muestreo	III-LXXV
• Figura 74. Mapas de distribución de fosfatos para el 2º muestreo	III-LXXVI
• Figura 75. Mapas de distribución de fosfatos e para el 3º muestreo	III-LXXVII

	Pág.
• Figura 76. Mapas de distribución de amonio para el 1º muestreo	III-LXXVIII
• Figura 77. Mapas de distribución de amonio para el 2º muestreo	III-LXXIX
• Figura 78. Mapas de distribución de amonio para el 3º muestreo	III-LXXX
• Figura 79. Mapas de distribución de amonio para el 4º muestreo	III-LXXXI
• Figura 80. Mapas de distribución de nitritos para el 1º muestreo	III-LXXXII
• Figura 81. Mapas de distribución de nitritos para el 2º muestreo	III-LXXXIII
• Figura 82. Mapas de distribución de nitritos para el 3º muestreo	III-LXXXIV
• Figura 83. Mapas de distribución de nitritos para el 4º muestreo	III-LXXXV
• Figura 80. Mapas de distribución de nitratos para el 1º muestreo	III-LXXXVI
• Figura 81. Mapas de distribución de nitratos para el 2º muestreo	III-LXXXVII
• Figura 82. Mapas de distribución de nitratos para el 3º muestreo	III-LXXXVIII
• Figura 83. Mapas de distribución de nitratos para el 4º muestreo	III-LXXXIX

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Superficies de Flotación y Terrestre del Puerto de Cartagena	20
Tabla 2. Movimiento anual de mercancías y otros movimientos	23
Tabla 3. Resumen vertidos históricos	28
Tabla 4. Relación de empresas con autorización de vertido de la Comunidad Autónoma de Murcia en 2004	31
Tabla 5. Valores de Niveles de Acción 2 en metales pesados en sedimentos (mg/kg de materia seca)	32
Tabla 6. Serie de temperaturas para un periodo de 25 años	33
Tabla 7. Número total de muestras recogidas en las cuatro campañas de muestreo	46
Tabla 8. Puntos de muestreo y muestras tomadas en cada punto	47
Tabla 9. Fechas de muestreo y número de puntos muestreados	51
Tabla 10. Datos meteorológicos correspondientes a las fechas de muestreo	51
Tabla 11. Valores estadísticos descriptivos	70
Tabla 12. Coeficientes de Curtosis y Asimetría	71
Tabla 13. Baremo de interpretación del índice KMO	74
Tabla 14. Distribución de variables en los factores obtenidos en función de su puntuación	76
Tabla 15. Distribución de variables en los diferentes factores y puntuaciones	77
Tabla 16. Matriz de los coeficientes	78
Tabla 17. Análisis de conglomerados	79
Tabla 18. Distribución de conglomerados	79
Tabla 19. Agrupación de las muestras en los conglomerados	80
Tabla 20. Influencia de los parámetro analíticos resultantes del ACP en las masas de agua definidas	86
Tabla 21. Objetivos de calidad y limitaciones al vertido de sustancias peligrosas al medio marino	310
Tabla 22. Media aritmética anual de los parámetros integrantes de cada factor estadístico y que no están legisladas	310
Tabla 23. Valores de “calidad general” (CG) y “mala calidad” (MA y MB)	311

	Pág.
Tabla 24. Parámetros integrantes de los Factores 1, 2, 3, 4 y 5 para las muestras AZ y PM	313
Tabla 25. Objetivos de calidad para metales pesados	329
Tabla 26. Niveles de acción (mg/kg) recomendados en los sedimentos portuarios	334
Tabla 27. Concentración de metales (mg/kg) de la red de control de la Junta de Comunidades de Murcia (JCM) en la campaña 2003 para los puntos coincidentes con esta Tesis	339
Tabla 28. Concentraciones límite calculadas para el cumplimiento de objetivos de calidad de metales (mg/kg) según RD 258/1989	340
Tabla 29. Contaminantes en los que cada masa de agua supera los objetivos de calidad definidos en la Tabla 28	346
Tabla 30. Niveles de acción recomendados en los sedimentos portuarios españoles	347
Tabla 31. Clasificación de sedimentos marinos en función de su contenido en metales pesados (mg/kg) y valores de los sedimentos del Puerto de Cartagena	355
Tabla 32. Contaminantes en los que cada masa de agua supera los objetivos de calidad definidos en la Tabla 28	357
Tabla 33. Número de puntos de muestreo necesarios para la red de control operativa	359

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Situación Geográfica	15
Figura 2. Desarrollo histórico del puerto de Cartagena	17
Figura 3. Puerto de Cartagena en la actualidad	18
Figura 4. Interior Dársena Cartagena	19
Figura 5. Interior Dársena de Escombreras	19
Figura 6. Vistas aéreas del Puerto de Cartagena	21
Figura 7. Muelle de contenedores (Dársena de Cartagena)	23
Figura 8. Muelle de barcos de metano (Dársena Escombreras)	23
Figura 9. Vertidos en la dársena de Cartagena	26
Figura 10. Vertidos en la dársena de Escombreras	29
Figura 11. Complejos Tectónicos en el entorno de Cartagena	35
Figura 12. Costa acantilada próxima a Punta Terrosa	36
Figura 13. Fondos Tipo (F1, F2 y F3) en la zona del puerto de Cartagena	39
Figura 14. Esquema general de corrientes en el Puerto de Cartagena	42
Figura 15. Red de muestreo	45
Figura 16. Embarcación de la APC empleada en las campañas de muestreo	48
Figura 17. Botella Ninski para toma de muestras a diferentes profundidades	49
Figura 18. Sonda oceánica Idromar IM71	49
Figura 19. Draga Van-Veen para toma de sedimentos	50
Figura 20. Toma de muestras de invertebrados bentónicos	50
Figura 21. Laboratorio instalado en el lugar de muestreo	53
Figura 22. Esquema de la sonda Idromar IM71	54
Figura 23. Correlación salinidad (g/l) – C.E. (mS/cm)	68
Figura 24. Correlación salinidad (g/l) – TSD (g/l)	68
Figura 25. Correlación entre sumatorio de iones (TSD, g/l) y salinidad verdadera (g/l)	69
Figura 26. Distribución de frecuencias para salinidad verdadera (S_T), asimetría negativa	72
Figura 27. Distribución de frecuencias para oxígeno disuelto (Curtosis positiva) y C.E. (Curtosis negativa)	73
Figura 28. Agrupación de las muestras en conglomerados 1, 3 y 5 en el 2º muestreo. (A) entre superficie y 5 m de profundidad. (B) entre 10 y 20 m de profundidad	81
Figura 29. Agrupación de las muestras en los conglomerados 2 y 4 en el 3º muestreo. (A) en superficie. (B) entre 5 y 20 m de profundidad	82
Figura 30. Distribución de factores en el conglomerado 1	83
Figura 31. Distribución de factores en el conglomerado 2	83

Figura 32. Distribución de factores en el conglomerado 3	84
Figura 33. Distribución de factores en el conglomerado 4	84
Figura 34. Distribución de factores en el conglomerado 5	85
Figura 35. Distribución de factores en el conglomerado 6	85
Figura 36. Masas de agua definidas	87
Figura 37. Distribución de frecuencias de los valores de pH	90
Figura 38. Distribución de pH con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo	91
Figura 39. Distribución de pH con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo	92
Figura 40. Distribución de pH con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo	93
Figura 41. Distribución de pH con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	94
Figura 42. Distribución espacial de valores medios de pH en cada muestreo	95
Figura 43. Distribución de frecuencias de Temperatura (°C)	96
Figura 44. Distribución de temperatura (°C) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo.	97
Figura 45. Distribución de temperatura (°C) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo.	98
Figura 46. Distribución de temperatura (°C) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo	99
Figura 47. Distribución de temperatura con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.	100
Figura 48. Evolución espacial de la temperatura (°C) para cada muestreo como valor medio en cada punto	102
Figura 49. Distribución de frecuencias de C.E. (mS/cm)	103
Figura 50. Distribución de la C.E. (mS/cm) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo	104
Figura 51. Distribución de la C.E. (mS/cm) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo	105
Figura 52. Distribución de la C.E. (mS/cm) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo	106
Figura 53. Distribución de la C.E. (mS/cm) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	107
Figura 54. Distribución espacial de C.E. (mS/cm) en función de los valores medios de cada punto de muestreo	109
Figura 55. Distribución de frecuencias de salinidad (S_T) (g/l)	110
Figura 56. Distribución de la salinidad (S_T) (g/l) con la profundidad en dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo	111

	Pág.
Figura 57. Distribución de la salinidad (S_T) (g/l) con la profundidad en zona exterior (Masa 2) para cada muestreo	112
Figura 58. Distribución de la salinidad (S_T) (g/l) con la profundidad en dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo	113
Figura 59. Distribución de la salinidad (S_T) (g/l) con la profundidad en zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	114
Figura 60. Distribución espacial de salinidad (g/l) en función de los valores medios en cada punto de muestreo	116
Figura 61. Distribución de frecuencias de turbidez (FTU)	117
Figura 62. Distribución de la turbidez (FTU) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo	118
Figura 63. Distribución de la turbidez (FTU) con la profundidad en zona exterior (Masa 2) para cada muestreo.	119
Figura 64. Distribución de la turbidez (FTU) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo	120
Figura 65. Distribución de la turbidez (FTU) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	121
Figura 66. Distribución espacial de turbidez (FTU) en función de los valores medios de cada punto de muestreo	123
Figura 67. Distribución de frecuencias de clorofila A	124
Figura 68. Distribución de clorofila A ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo	125
Figura 69. Distribución de clorofila A ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo	126
Figura 70. Distribución de clorofila A ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo	127
Figura 71. Distribución de clorofila A con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	128
Figura 72. Distribución espacial de Clorofila A ($\mu\text{g/l}$) en base a los valores medios de cada punto de muestreo	130
Figura 73. Distribución de frecuencias de valores de potencial Redox (mV)	131
Figura 74. Distribución de potencial Redox (mV) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo	132
Figura 75. Distribución de potencial Redox (mV) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo	133
Figura 76. Distribución de potencial Redox (mV) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo	134

	Pág.
Figura 77. Distribución del potencial Redox (mV) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	135
Figura 78. Distribución espacial del Potencial Redox (mV) en base a los valores medios de cada punto de muestreo	137
Figura 79. Distribución de frecuencias de oxígeno disuelto (mg/l)	138
Figura 80. Distribución de oxígeno disuelto (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo	139
Figura 81. Distribución de oxígeno disuelto (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo	140
Figura 82. Distribución de oxígeno disuelto (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo	141
Figura 83. Distribución de oxígeno disuelto (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	142
Figura 84. Distribución espacial de oxígeno disuelto (mg/l) en base a los valores medios de cada punto de muestreo	144
Figura 85. Distribución de frecuencias de carbonatos (mg/l)	146
Figura 86. Distribución de carbonatos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo	147
Figura 87. Distribución de carbonatos (mg/l) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo	148
Figura 88. Distribución de carbonatos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo	149
Figura 89. Distribución de carbonatos con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	150
Figura 90. Evolución espacial de carbonatos (mg/l) en cada muestreo en base a los valores medios para cada punto de muestreo	152
Figura 91. Distribución de frecuencias de bicarbonatos (mg/l)	153
Figura 92. Distribución de bicarbonatos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo	154
Figura 93. Distribución de bicarbonatos (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo	155
Figura 94. Distribución de bicarbonatos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo	156
Figura 95. Distribución de bicarbonatos con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	157
Figura 96. Distribución espacial de bicarbonatos (mg/l) en base a los valores medios de cada punto de muestreo	159

	Pág.
Figura 97. Distribución de frecuencias de sulfatos (mg/l)	160
Figura 98. Distribución de sulfatos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo	161
Figura 99. Distribución de sulfatos (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo	162
Figura 100. Distribución de sulfatos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo	163
Figura 101. Distribución de sulfatos (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	164
Figura 102. Distribución espacial de sulfatos (mg/l) en base a los valores medios de cada punto de muestreo	166
Figura 103. Distribución de frecuencias de cloruros (mg/l)	167
Figura 104. Distribución de cloruros (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo	168
Figura 105. Distribución de cloruros (mg/l) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo	169
Figura 106. Distribución de cloruros (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo	170
Figura 107. Distribución de cloruros (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	171
Figura 108. Distribución espacial de cloruros (mg/l) en base a los valores medios para cada punto de muestreo	173
Figura 109. Distribución de frecuencias de calcio (mg/l)	174
Figura 110. Distribución de calcio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo	175
Figura 111. Distribución de calcio (mg/l) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo	176
Figura 112. Distribución de calcio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo	177
Figura 113. Distribución de calcio (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	178
Figura 114. Distribución espacial de calcio (mg/l) en base a los valores medios para cada punto de muestreo	180
Figura 115. Distribución de frecuencias de magnesio (mg/l)	181
Figura 116. Distribución de magnesio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo	182
Figura 117. Distribución de magnesio (mg/l) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo	183

	Pág.
Figura 118. Distribución de magnesio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo	184
Figura 119. Distribución de magnesio (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	185
Figura 120. Distribución espacial de magnesio (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo	187
Figura 121. Distribución de frecuencias de sodio (mg/l)	188
Figura 122. Distribución de sodio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo	189
Figura 123. Distribución de sodio (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo	190
Figura 124. Distribución de sodio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo	191
Figura 125. Distribución de sodio (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	192
Figura 126. Distribución espacial de sodio (mg/l) en base a los valores medios de cada punto de muestreo	194
Figura 127. Distribución de frecuencias de potasio (mg/l)	195
Figura 128. Distribución de potasio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo	196
Figura 129. Distribución de potasio (mg/l) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo	197
Figura 130. Distribución de potasio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo	198
Figura 131. Distribución de sodio (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo	199
Figura 132. Distribución espacial de potasio (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo	201
Figura 133. Distribución de frecuencias de hierro (mg/l)	203
Figura 134. Distribución de frecuencias de hierro para muestras con valores inferiores a 0,16 mg/l	204
Figura 135. Distribución de hierro (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo	205
Figura 136. Distribución de hierro (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo	206
Figura 137. Distribución de hierro (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo	207
Figura 138. Distribución de hierro (mg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo	208

Figura 139. Distribución espacial de hierro (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo	210
Figura 140. Distribución de frecuencias de zinc (mg/l)	211
Figura 141. Distribución de frecuencias de zinc para muestras con valores inferiores a 0,19 mg/l	212
Figura 142. Distribución de zinc (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo	213
Figura 143. Distribución de zinc (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo	214
Figura 144. Distribución de zinc (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo	215
Figura 145. Distribución de zinc (mg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo	216
Figura 146. Distribución espacial de zinc (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo	218
Figura 147. Distribución de frecuencias de cobre (µg/l)	219
Figura 148. Distribución de frecuencias de cobre para muestras con valores inferiores a 57,7 µg/l	220
Figura 149. Distribución de cobre (µg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo	221
Figura 150. Distribución de cobre (µg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo	222
Figura 151. Distribución de cobre (µg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo	223
Figura 152. Distribución de cobre (µg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo	224
Figura 153. Distribución espacial de cobre (µg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo	226
Figura 154. Distribución de frecuencias de cadmio (µg/l)	227
Figura 154b. Distribución de frecuencias de cadmio para muestras con valores inferiores de 4,85 µg/l	227
Figura 155. Distribución de cadmio (µg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo	229
Figura 156. Distribución de cadmio (µg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo	230
Figura 157. Distribución de cadmio (µg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo	231
Figura 158. Distribución de cadmio (µg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo	232

	Pág.
Figura 159. Distribución espacial de cadmio ($\mu\text{g/l}$) en base a los valores medios en cada punto de muestreo	234
Figura 160. Distribución de frecuencias de plomo ($\mu\text{g/l}$)	235
Figura 161. Distribución de frecuencias de plomo para muestras con valores inferiores de 14,12 $\mu\text{g/l}$	235
Figura 162. Distribución de plomo ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo	236
Figura 163. Distribución de plomo ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo	237
Figura 164. Distribución de plomo ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo	238
Figura 165. Distribución de plomo ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo	239
Figura 166. Distribución espacial de plomo ($\mu\text{g/l}$) en base a los valores medios en cada punto de muestreo	241
Figura 167. Distribución de frecuencias de mercurio ($\mu\text{g/l}$)	242
Figura 168. Distribución de frecuencias de mercurio para muestras con valores inferiores de 4,93 $\mu\text{g/l}$	243
Figura 169. Distribución de mercurio ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Cartagena.	244
Figura 170. Distribución de mercurio ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona exterior	245
Figura 171. Distribución de mercurio ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Escombreras	246
Figura 172. Distribución de mercurio ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo	247
Figura 173. Distribución espacial de mercurio ($\mu\text{g/l}$) por profundidades durante el 1º muestreo	248
Figura 174. Especies de fósforo inorgánico en agua de mar	250
Figura 175. Distribución de frecuencias de fosfatos (mg/l)	251
Figura 176. Distribución de frecuencias de fosfatos para muestras con valores inferiores a 0,24 mg/l	252
Figura 177. Distribución de fosfatos (mg/l) con la profundidad en dársena de Cartagena para cada muestreo	253
Figura 178. Distribución de fosfatos (mg/l) con la profundidad en zona exterior para cada muestreo	254
Figura 179. Distribución de fosfatos (mg/l) con la profundidad en dársena de Escombreras para cada muestreo.	255
Figura 180. Distribución de fosfatos (mg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo	256
Figura 181. Distribución espacial de fosfatos (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo	250

	Pág.
Figura 182. Distribución de frecuencias de amonio (mg/l)	259
Figura 183. Distribución de amonio (mg/l) con la profundidad en dársena de Cartagena para cada muestreo	260
Figura 184. Distribución de amonio (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo	261
Figura 185. Distribución de amonio (mg/l) con la profundidad en dársena de Escombreras para cada muestreo	262
Figura 186. Distribución de amonio (mg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo	263
Figura 187. Distribución espacial de amonio (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo	265
Figura 188. Distribución de frecuencias de nitritos (mg/l)	266
Figura 189. Distribución de frecuencias de nitritos para muestras con valores inferiores a 0,08 mg/l	267
Figura 190. Distribución de nitritos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo	268
Figura 191. Distribución de nitritos (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo	269
Figura 192. Distribución de nitritos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo	270
Figura 193. Distribución de nitritos (mg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo	271
Figura 194. Distribución espacial de nitritos (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo	272
Figura 195. Distribución de frecuencias de nitratos (mg/l)	273
Figura 196. Distribución de nitratos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo	274
Figura 196. Distribución de nitratos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo	275
Figura 198. Distribución de nitratos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo	276
Figura 199. Distribución de nitratos (mg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo	278
Figura 200. Distribución espacial de nitratos (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo	279
Figura 201. Distribución de frecuencias de HCT (mg/l)	280
Figura 202. Distribución de frecuencias de HCT para muestras con valores inferiores a 0,23 mg/l	281
Figura 203. Distribución de HCT (mg/l) para cada muestreo	282
Figura 204. Distribución espacial de HCT (mg/l) para cada muestreo en superficie	283

	Pág.
Figura 205. Concentración de mercurio (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena	284
Figura 206. Concentración de mercurio (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior	284
Figura 207. Concentración de mercurio (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras	285
Figura 208. Concentración de mercurio (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición	285
Figura 209. Concentración de zinc (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena	287
Figura 210. Concentración de zinc (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior	287
Figura 211. Concentración de zinc (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras	288
Figura 212. Concentración de zinc (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición	288
Figura 213. Concentración de cobre (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena	289
Figura 214. Concentración de cobre (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior	290
Figura 215. Concentración de cobre (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras	290
Figura 216. Concentración de cobre (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición	290
Figura 217. Concentración de níquel (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena	292
Figura 218. Concentración de níquel (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior	292
Figura 219. Concentración de níquel (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras	293
Figura 220. Concentración de níquel (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición	293
Figura 221. Concentración de bario (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena	294
Figura 222. Concentración de bario (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior	294
Figura 223. Concentración de bario (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras	295
Figura 224. Concentración de bario (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición	295
Figura 225. Concentración de cromo (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena	296
Figura 226. Concentración de cromo (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior	296
Figura 227. Concentración de cromo (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras	297
Figura 228. Concentración de cromo (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición	297
Figura 229. Concentración de cobalto (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena	298
Figura 230. Concentración de cobalto (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior	298
Figura 231. Concentración de cobalto (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras	299
Figura 232. Concentración de cobalto (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición	299
Figura 233. Concentración de litio (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena	300
Figura 234. Concentración de litio (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior	300
Figura 235. Concentración de litio (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras	301
Figura 236. Concentración de litio (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición	301
Figura 237. Concentración de circonio (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena	302
Figura 238. Concentración de circonio (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior	302
Figura 239. Concentración de circonio (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras	303
Figura 240. Concentración de circonio (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición	303
Figura 241. Relación C/N en los sedimentos de la dársena de Cartagena	304
Figura 242. Relación C/N en los sedimentos de la zona exterior	304

	Pág.
Figura 243. Relación C/N en los sedimentos de la dársena de Escombreras	305
Figura 244. Relación C/N en los sedimentos de la zona de transición	305
Figura 245. Concentración de PAH's en sedimentos durante el 1º muestreo (escala logarítmica)	307
Figura 246. Concentración de PAH's en sedimentos durante el 3º muestreo (escala logarítmica)	307
Figura 247. Composición media de la columna de agua de la zona de estudio	309
Figura 248. Distribución de los tipos de aguas "calidad general" (CG) y "mala calidad" (MA y MB) frente a los factores	312
Figura 249. Distribución de las muestras de la Masa 1 respecto a la calidad	315
Figura 250. Distribución de las muestras AZ y PM respecto a la calidad de la Masa 1	316
Figura 251. Distribución de las muestras de la Masa 2 respecto a la calidad	317
Figura 252. Distribución de las muestras AZ y PM respecto de la calidad de la Masa 2	318
Figura 253. Distribución de las muestras de la Masa 3 respecto a la calidad	320
Figura 254. Distribución de las muestras AZ y PM respecto de la calidad de la Masa 3	321
Figura 255. Distribución de las muestras de la Masa 4 respecto a la calidad (Factores 1, 2, 3 y 5)	322
Figura 256. Distribución de las muestras AZ y PM respecto de la calidad de la Masa 4 (Factores 1, 2, 3, y 5)	323
Figura 257. Distribución de las muestras de la Masa 4 respecto a la calidad (Factor 4)	324
Figura 258. Distribución de las muestras AZ y PM respecto a la calidad de la Masa 4 (Factor 4)	325
Figura 259. Porcentaje de metales pesados (Cd, Cu, Zn y Pb) en las muestras de agua a 1m de profundidad correspondientes al 3º muestreo	327
Figura 260. Porcentaje de metales pesados (Cd, Cu, Zn, Pb) en las muestras de agua a 10 m de profundidad correspondientes al 3º muestreo	328
Figura 261. Valores medios anuales de Hg (µg/l)	330
Figura 262. Valores medios anuales de Cd (µg/l)	330
Figura 263. Valores medios anuales de Cu (µg/l)	331
Figura 264. Valores medios anuales de Zn (µg/l)	331
Figura 265. Valores medios anuales de Pb (µg/l)	332
Figura 266. Porcentaje de metales pesados en las muestras de sedimentos correspondientes al 3º muestreo	334
Figura 267. Concentración de Hg (mg/kg) en sedimentos (media anual)	336
Figura 268. Concentración de Zn (mg/kg) en sedimentos (media anual)	337
Figura 269. Concentración de Ni (mg/kg) en sedimentos (media anual)	337
Figura 270. Concentración de Cu (mg/kg) en sedimentos (media anual)	338

	Pág.
Figura 271. Concentración de Cr (mg/kg) en sedimentos (media anual	338
Figura 272. Concentración media de mercurio (mg/kg) de las muestras de sedimentos	341
Figura 273. Concentración media de zinc (mg/kg) de las muestras de sedimentos	342
Figura 274. Concentración media de níquel (mg/kg) de las muestras de sedimentos	343
Figura 275. Concentración media de cobre (mg/kg) de las muestras de sedimentos	344
Figura 276. Concentración media de cromo (mg/kg) de las muestras de sedimentos	345
Figura 277. PAH's 6 en sedimentos (µg/kg) durante el 1º muestreo	347
Figura 278. PAH's 6 en sedimentos (µg/kg) durante el 3º muestreo	347
Figura 279. Composición de PAH's (mg/kg) de las muestras de sedimentos correspondientes al 3º muestreo	349
Figura 280. Relación C/N de las muestras de sedimentos correspondientes al 3º muestreo	350

1. INTRODUCCIÓN

El medio marino tiene un elevado grado de complejidad, diversidad de hábitat y biodiversidad. El mar permite diferentes usos los cuales deben ser explotados de manera sostenible. También este medio soporta significativas presiones: contaminación, turismo, pesquería comercial, introducción de especies alóctonas, eutrofización, acuicultura, vertido de sedimentos, extracción de arenas, transporte marítimo, etc.

En respuesta a estos problemas las administraciones internacionales tienden a desarrollar estrategias para la protección, conservación y restauración del medio marino. La III Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS, 1982) establece las líneas generales para la protección y conservación de los ecosistemas marinos, en su texto aprobado el 30 de Abril de 1982, artículo 1.4, define contaminación del mar como “la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o de energía en el medio marino, incluidos los estuarios, que produzcan o puedan producir efectos nocivos tales como daños en los recursos vivos y la vida marina, peligro para la salud humana, obstaculización de las actividades marítimas, incluida la pesca y otros usos legítimos del mar, deterioro de la calidad de las aguas del mar para su utilización y menoscabo de los lugares de esparcimiento”.

Basándose en UNCLOS y la Convención sobre la Diversidad Biológica de 1992 (CBD, 2000) diferentes países han desarrollado su propia legislación al respecto (Canadá en 1997, Australia en 1998, Estados Unidos en 2000, etc...). En la Unión Europea existen algunas normas referentes al medio marino como la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE, DMA) o la Directiva para la prevención de la contaminación desde los buques (Directiva 95/21/CE), junto con convenios internacionales (Convenios de París, Londres, Helsinki, Barcelona, MEDPOL, MARPOL, etc.), pero ninguno de ellos desarrollados e integrados dentro de una estrategia común de protección del medio marino en la Unión Europea.

Para corregir esta situación se plantea la “Proposición de Directiva del Parlamento Europeo y el Consejo para el Establecimiento de un Marco de Acción Común en el Campo de Política del Medio Marino”; conocida como Directiva de Estrategia Marina Europea, presentada el 24 de octubre de 2005 por la Comisión de la Unión Europea (COM 2005a, b, c).

El objeto principal de la Directiva de Estrategia Marina Europea es la protección y/o restauración de los mares europeos, asegurando que las actividades humanas son desarrolladas de manera sostenible logrando aguas seguras, limpias y productivas; resumiendo, para promover el uso sostenible de los mares y la conservación de los ecosistemas (Borja, A.; 2006).

España es uno de los países de la UE con mayor extensión costera (unos 3500 km), costas que por otra parte tienen un intenso tráfico de buques. Anualmente 91000 buques atraviesan el Estrecho de Gibraltar, de los cuales, 18000 transportan materias peligrosas. La consecuencia directa es un riesgo elevado de contaminación y deterioro ecológico. Entre el periodo 1977-2003 el Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea ha registrado 376 buques implicados en incidentes o alertas por problemas relacionados en el transporte de petróleo.

Los puertos, en sus terminales de petróleo, y sus aledaños suelen ser los lugares más afectados, sobre todo en las maniobras de carga y descarga.

El Convenio de Barcelona de 1976 propone reducir la contaminación en el Mar Mediterráneo, protegiendo y mejorando el entorno marino de la zona, contribuyendo así al desarrollo sostenible. Los países de la Unión Europea se adhirieron al citado Convenio mediante la Decisión 77/585/CEE, que fue reformada en 1995, aprobada por la Decisión 1999/802/CE. En este marco se facilita la protección del medio ambiente en la región, si bien todavía se registran vertidos y elevados niveles de hidrocarburos procedentes, en su mayoría, de accidentes en buques cisterna, descargas ilegales o filtraciones de combustible (buque Prestige, costas gallegas, en 2002, buque Sierra Nava, bahía de Algeciras y buque Don Pedro, costas de Ibiza, en 2007).

Los daños causados, ecológicos y/o económicos, no guardan necesariamente proporción con la cantidad vertida, por lo que adquiere especial relevancia el control y reducción de los vertidos.

El endurecimiento de la normativa está obligando al desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías que faciliten el control de estos vertidos, ya sean accidentales o intencionados. Una de las mejores soluciones que se presentan tras un incidente de estas características es contar con una herramienta que permita tener una imagen referenciada espacialmente del fenómeno, que proporcione la visualización de su extensión y posibilite la predicción, cuando esto sea posible, de su probable evolución, para posibilitar la rápida toma de decisiones y minimizar sus efectos.

En los puertos se realiza una elevada actividad industrial con una repercusión económica importante la cual, de no estar bien regulada, puede plantear una serie de problemas que es necesario controlar para minimizar el impacto ambiental.

Entre las distintas actividades portuarias que producen contaminación hay que hacer especial mención al tráfico portuario y a las operaciones de carga y descarga.

Como tráfico portuario se incluyen los vertidos líquidos procedentes de la limpieza de motores, sentinas, aguas residuales de los buques procedentes de inodoros, urinarios, lavabos, servicios médicos, así como los vertidos procedentes de baldeo de cubiertas y de buques de transporte de ganado. Asimismo, se generan residuos sólidos, flotantes o no, provenientes de los residuos sólidos de buques, embarcaciones, restos de pescado procedente de las embarcaciones pesqueras, etc.

Los contaminantes son muy variados, destacando los aceites y grasas procedentes de la lubricación de las partes móviles de las embarcaciones y de los motores; los metales pesados procedentes de la disolución de estructuras metálicas; materia orgánica, nutrientes, grasas, plásticos, etc.

Los contaminantes que llegan a las aguas procedentes de estas operaciones pueden estar en suspensión, disueltos, o bien pueden alcanzar los fondos marinos de los puertos, depositándose y provocando alteraciones tanto en las aguas como en los sedimentos. En este último caso, el problema se plantea a posteriori durante posibles operaciones de dragado.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de esta Tesis Doctoral es la caracterización de la calidad de las aguas en el área marítimo-portuaria y el conocimiento de su evolución. Los objetivos específicos son:

- Determinación de la calidad del agua en el área de servicio portuaria de Cartagena, dársenas de Cartagena y Escombreras.
- Correlación de los parámetros de calidad estudiados al objeto de seleccionar aquellos de mayor relevancia.
- Establecimiento de las bases científicas para una red de control operativa.
- Estado de calidad actual y propuesta de medidas de mejora.

La presente Tesis Doctoral se enmarca dentro del Proyecto “*Sistema Integrado de Seguimiento de la Calidad del Agua con Aplicación al Sector Marítimo Portuario (SISCART)*” y trata del desarrollo de las bases científico-técnicas para el diseño de una red de control de la calidad de las aguas en las áreas marítimo-portuarias. Primero se seleccionó un área portuaria adecuada para el desarrollo de los hitos propuestos, de acuerdo con el Ente Público Puertos del Estado, decidiéndose realizar el estudio en el Puerto de Cartagena, con la colaboración de la Autoridad Portuaria de Cartagena.

El Proyecto “*Sistema Integrado de Seguimiento de la Calidad del Agua con Aplicación al Sector Marítimo Portuario (SISCART)*” se inició en 2003 y finalizó en 2005 sin haber alcanzado la totalidad de sus objetivos. Las fases realizadas fueron financiadas mediante ayudas PROFIT (FIT-050000-2003-24 y FIT-310100-2004-12), con la colaboración del Ente Público Puertos del Estado (Ministerio de Fomento) y la Autoridad Portuaria de Cartagena, llevándose a cabo en el área de las dársenas de Cartagena y Escombreras.

Después se definió la calidad de partida de las aguas del entorno marítimo, se llevó a cabo el análisis de los datos físico-químicos y biológicos obtenidos al objeto de seleccionar aquellos que con mayor sencillez y eficiencia pueden ser medidos para generar una red de control de la calidad de las aguas y sus variaciones.

Finalmente se establecen las bases científico técnicas del diseño de la red de control de la calidad del agua en el entorno marítimo-portuario y sus alteraciones derivadas de vertidos.

3. ANTECEDENTES

Las redes de vigilancia del medio marino tienen su precedente más antiguo en 1974, año en que Francia crea la “Red Nacional de Observación del Medio Marino (RNO)”, gestionada por el Instituto Francés de Investigación del Mar (IFREMER).

En Estados Unidos se analizan desde 1984 los contaminantes en moluscos y sedimentos de 300 puntos en las dos costas (Atlántico y Pacífico). Esta red está a cargo de la Administración Nacional de Océanos y Atmósfera (NOOA) a través del “Programa Nacional de Rangos y Tendencias (NS&T)”.

Gran Bretaña dispone, desde 1990, de un “Plan Principal de Vigilancia (MMP)”, llamado en la actualidad “Programa de Vigilancia Nacional de Gran Bretaña (NMP)”. En este Programa se analizan contaminantes en agua, sedimentos y biota, así como la problemática de vertidos desde buques al mar. Esta red es gestionada por el “Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAFF)”.

En las redes de vigilancia de la calidad de las aguas las características físico-químicas son determinadas mediante técnicas analíticas normalizadas que establecen los niveles existentes en la columna de agua de diferentes parámetros, considerando como más relevantes aquellos cuya incidencia ambiental es mas nociva para el medio, como metales pesados, compuestos tóxicos, etc. Los parámetros controlados están determinados por las exigencias de directivas de obligado cumplimiento (calidad de aguas de baño, cultivo de moluscos, vertidos de tierra a mar, etc.).

En la Unión Europea desde la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE, DMA) el estado de las aguas costeras se rige por el Artículo 8 de dicha Directiva.

1. *Los estados miembros velarán por el establecimiento de programas de seguimiento del estado de las aguas, con objeto de obtener una visión general coherente y completa del estado de las aguas en cada demarcación hidrográfica:*

En el caso de las aguas superficiales, los programas de vigilancia incluirán:

- *el seguimiento del volumen y nivel de flujo en la medida en que este sea pertinente para el estado ecológico y químico, y*
- *el seguimiento del estado ecológico y químico y el potencial ecológico.*

2. *.....Dicho seguimiento se ajustará a lo dispuesto en el anexo V.*

3. Las especificaciones técnicas y los métodos normalizados para el análisis y el seguimiento del estado de las aguas se establecerá con arreglo al procedimiento establecido en el artículo 21 y siguiendo los procedimientos expuestos en los apartados 1.3 y 1.4 del anexo V.

En las aguas litorales la DMA distingue entre “aguas de transición” y “aguas costeras” (Directiva 2000/60/CE), las Zonas de Servicio Portuario pertenecerían a ambas categorías. Siendo por este motivo zonas con una problemática ambiental y competencial muy particular y por ello han sido objeto de estudio en España por parte del llamado Foro EROM. Este Foro se constituye para la llevar a cabo la aplicación del Programa ROM (Reglamentación de Obras Marítimas) de Puertos del Estado (Ministerio de Fomento) dedicando su capítulo 5.1 a la “Calidad de las Aguas Litorales en Áreas Portuarias”. Se han realizado varias modificaciones de este documento siendo la última recomendación editada del Programa ROM sobre calidad de aguas la ROM 5.1-0.5 (Puertos del Estado, 2005).

El documento ROM 5.1-05 (Puertos del Estado, 2005), pretende establecer una metodología de estudio para la gestión de la calidad de las aguas en las Zonas de Servicio Portuario. Para ello desarrolla tres programas:

- Programa de delimitación de usos y tipificación de las masas de agua.
 - Zonificación de usos del medio acuático
 - Establecimiento de categorías de masas de agua.
 - Asignación de tipos a las masas de agua.
- Programa de evaluación y gestión de riesgos ambientales.
 - Identificación de emisiones contaminantes.
 - Estimación del riesgo ambiental de cada emisión contaminante.
 - Valoración del riesgo ambiental asociado a cada emisión contaminante.
 - Propuesta de medidas preventivas y correctoras.
- Programa de vigilancia ambiental
 - Plan de vigilancia sistemática
 - Plan de seguimiento en continuo
 - Plan de inspección visual

En 2005 tras la edición del documento ROM 5.1-0.5 varios grupos de investigación en diferentes puertos españoles son invitados a realizar una propuesta de aplicación de esta recomendación basada en la DMA a sus ámbitos de estudio reunidas en el documento EROM 01 (Puertos del Estado, 2006):

- Puerto de Barcelona: Autoridad Portuaria de Barcelona. “Aproximación a la Vigilancia Ambiental de la ROM 5.1-05 y el Control de la Calidad de las Aguas en el Puerto de Barcelona” (Romo, 2006).
- Puerto de Santa Cruz de Tenerife: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife, Instituto Canario de Ciencias Marinas. “Diseño para la Implantación de la ROM 5.1-05 en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife” (Álvarez-Vázquez et al, 2006).
- Puerto de Gijón: Autoridad Portuaria de Gijón, Universidad de Cantabria, Ingenieros Asesores. “Aplicación de la RO 5.1-05 al Puerto de Gijón” (Domenech et al, 2006).
- Puerto de Cartagena: Autoridad Portuaria de Cartagena, Universidad Autónoma de Madrid, CIEMAT. “Aplicación de la ROM 5.1-05 al Puerto de Cartagena” (López-Samaniego et al, 2006). Es en este grupo donde se integra la investigación desarrollada en esta Tesis Doctoral.

Al margen de las nuevas atribuciones competenciales otorgadas por la DMA, los puertos españoles, conjuntamente con los puertos de la Unión Europea, han trabajado desde la década de los noventa en la introducción de las exigencias ambientales en la gestión portuaria, introduciendo en los Planes Directores Portuarios las exigencias de Evaluación de Impacto Ambiental y Evaluación Ambiental Estratégica (Castaño Gea, 2005), así como introduciendo Sistemas de Gestión Ambiental. El objetivo de esta implicación ha sido contribuir a la sostenibilidad del transporte, armonizando sus políticas ambientales y desarrollando herramientas que permitan una identificación y reducción de los impactos ambientales portuarios, una mejor prevención y control de los riesgos ambientales y una más fácil adaptación de los puertos a las exigencias y requerimientos de la legislación ambiental (Ondiviela et al, 2006).

En el ámbito del Puerto de Cartagena existen trabajos preliminares desarrollados por el Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX, 1981, 2003) en la Zona de Servicio Portuario donde se recogen las características físico-químicas de las aguas y sedimentos del área de estudio. La Junta de Comunidades de Murcia cuenta desde 1994 con una red de control de las aguas litorales con varias estaciones en la zona de estudio y su entorno próximo y la Autoridad Portuaria de Cartagena ha encargado un conjunto de estudios sobre la problemática de sustancias contaminantes en la dársena de Escombreras, así como los estudios realizados para el Estudio de Evaluación Ambiental de las obras de ampliación de la dársena de Escombreras, actualmente finalizadas (Hidráulica y Medio Ambiente, 1996; Hidráulica y Medio Ambiente, 1997; ALATEC S.A., 1997; HIDTMA S.L., 1997; Ruiz Bauzá; 2002).

4. GESTIÓN PORTUARIA; COMPETENCIAS Y SERVICIOS

Los grandes puertos del sistema portuario español, categoría a la que pertenece el Puerto de Cartagena, son calificados en el ordenamiento jurídico español, como de interés general, correspondiendo la competencia sobre los mismos al Estado. Será la Administración del Estado la que tenga que ejercitar las funciones necesarias para cumplir con tal mandato (Ley 27/1992).

La normativa jurídico administrativa, constituida básicamente por la Ley 27/1992, de 24 de noviembre, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante (en adelante LPEMM), delimita, en materia de gestión y con carácter previo a la regulación detallada de la misma, qué órganos de la Administración estatal ejercitan las competencias sobre tales puertos. Por la Ley 62/1997, de 26 de diciembre, la LPEMM ha sido objeto de una modificación parcial que introduce cambios sustanciales, a través de la potestad atribuida a las Comunidades Autónomas de designar los órganos de gobierno de las Autoridades Portuarias.

La calificación de los puertos como bienes de dominio público marítimo-terrestre (Ley 22/1988 y RD 1471/1989) comporta los mismos efectos que para el resto de los bienes de dominio público. En el ámbito portuario, tal calificación supone dos consecuencias fundamentales. Por una parte, sobre los puertos de titularidad del Estado no puede existir titularidad distinta, pública o privada, de la del Estado; en los terrenos que forman parte del dominio portuario no caben, pues, espacios con otra titularidad, lo que no es obstáculo para que los particulares puedan utilizar dichos espacios. En segundo lugar, las competencias que, para la protección, defensa y utilización del dominio público, prevé el ordenamiento jurídico habrán de ser ejercitadas por la Administración del Estado.

La Ley 48/2003, de 26 de noviembre, de Régimen Económico y de Prestación de Servicios de los Puertos de Interés General, define como Zona de Servicio Portuario, legalmente establecida para cada Autoridad Portuaria, como los “espacios de tierra y de agua necesarios para el desarrollo de los usos portuarios y los espacios de reserva que garanticen la posibilidad de desarrollo de la actividad portuaria”, y es en esta Zona de Servicios Portuarios sobre la que se desarrolla esta Tesis Doctoral.

La construcción de nuevos puertos, compete al Ministerio de Fomento con la aprobación del proyecto, que se somete al procedimiento de Declaración de Impacto Ambiental y a los informes de los siguientes órganos y Administraciones: Defensa, Economía y Hacienda, Industria y Energía, y Comercio, además, de Agricultura, Pesca y Alimentación en caso de existir actividades pesqueras; Comunidad

Autónoma y Ayuntamientos en relación a sus competencias de ordenación de territorio y urbanismo.

Para la ampliación o modificación de puertos, se requiere del correspondiente proyecto redactado y aprobado por la Autoridad Portuaria o por el Puerto del Estado, en su caso, debiendo incluir cuando se trate del supuesto de ampliación un Estudio de Impacto Ambiental si dicha ampliación modifica sustancialmente la configuración y los límites exteriores de los puertos y someterse a Declaración de Impacto Ambiental cuando la actuación modifique o altere, de forma sustancial, el medio ambiente. En estos supuestos de ampliación o modificación de puertos es frecuente la necesidad de realizar obras de dragado o de relleno con materiales de origen terrestre o marítimo. Esta posibilidad está regulada por la LPEMM, que lo permite siempre que por su naturaleza, disposición final o aislamiento protector no den origen a procesos de contaminación que superen los niveles exigibles por la normativa aplicable de calidad de las aguas marinas.

En cualquier caso los dragados fuera de la zona interior de las aguas del puerto requieren autorización de la Autoridad Portuaria previo informe de la Capitanía Marítima y de la Dirección General de Costas. Igualmente es necesaria la autorización de la Autoridad Portuaria y el informe de la Dirección General de Costas en los supuestos de vertidos procedentes de obras portuarias de dragado. Además, en ambos casos, se exige los estudios, informes, análisis necesarios que permitan valorar los efectos de la actuación sobre la sedimentología litoral y la biosfera submarina, así como, en su caso, la capacidad contaminante de los vertidos; informe de la Administración competente en materia de pesca; aprobación de obras nuevas o de modificación de las existentes cuando estas supongan la construcción de nuevos diques o escolleras fuera de la zona interior de las aguas del puerto.

En relación con el medio ambiente, la competencia es compartida entre el Estado y las Comunidades Autónomas, en la medida en que se atribuye al primero la competencia exclusiva sobre la legislación básica en materia de protección del medio ambiente, sin perjuicio de las facultades de las segundas de establecer normas adicionales de protección.

Al Estado corresponde la competencia de dictar la legislación básica y a las Comunidades Autónomas la de desarrollar dicha legislación y aplicar ambas normativas básica y de desarrollo.

Sin embargo según dispone el art. 6 de la LPEMM, a Marina Mercante compete la prevención de la contaminación producida desde buques, plataformas fijas y otras instalaciones que se encuentren en aguas situadas en zonas en las que España ejerce soberanía, derechos soberanos o jurisdicción y la protección del medio ambiente marino.

Prevención de la contaminación en el mar y protección del medio ambiente marino son pues, funciones que entran dentro de la competencia relativa a la Marina Mercante, y como tales, de competencia estatal.

- Actividades industriales, comerciales o de servicios al público

Las autorizaciones otorgadas por las Autoridades Portuarias para el ejercicio de actividades industriales, comerciales o de servicios al público se han de sujetar a los pliegos de condiciones generales que, aprobados por Puertos del Estado, determinarán las garantías y exigencias que condicionarán el libre acceso a la prestación de servicios al público en el ámbito portuario.

- Vertidos

El régimen jurídico de los vertidos varía según estos se produzcan desde buques o de tierra al mar, y en el primero de los supuestos enunciados, dicho régimen depende a su vez de que los vertidos tengan lugar en el dominio público portuario o en aguas no portuarias.

Los vertidos procedentes de buques o de medios flotantes de cualquier tipo quedan prohibidos en el dominio público portuario. Tal prohibición afecta a todo vertido o emisión contaminante, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos, con la única excepción de los supuestos regulados en el art. 21 de la LPEMM, referidos a los vertidos de productos procedentes de obras portuarias de dragado así como a los rellenos que podrán ser autorizados por la Autoridad Portuaria previo informe de la Dirección General de Costas.

A tales efectos se impone la obligación de descargar a tierra y depositar en los recipientes, instalaciones o cisternas que determine la Autoridad Portuaria en cada caso o que estén previstos en las Ordenanzas de cada puerto, los restos o residuos sólidos y líquidos procedentes de sentinas, lastres, lavado de tanques o bodegas, aceites usados, aguas sucias y demás líquidos contaminantes.

En caso de realizarse el vertido de tierra al mar, requiere autorización de la Administración competente, esto es, la autonómica, que se otorgará con sujeción a la legislación (Ley 16/2002), sin perjuicio de la autorización de ocupación de dominio público que, en su caso, habrá de otorgar la Autoridad Portuaria y cuyo régimen se regula en la legislación de costas (Ley 22/1988).

- Recepción de residuos

Determinadas instalaciones portuarias necesitan, además de la autorización otorgada por la Autoridad Portuaria, otra que garantice a esta la disponibilidad de instalaciones de recepción de residuos, concretamente, de instalaciones para la recepción y tratamiento de residuos petrolíferos y químicos y de aguas de sentinas y para la limpieza de aceites, grasas y otros productos contaminantes, así como de los medios necesarios para prevenir y combatir los derrames (RD 1381/2002).

Las actividades que, en la medida que ocupen espacio portuario, se encuentran sujetas a dicha exigencia son, en virtud de lo dispuesto en el art. 62 de la LPEMM: refinerías de petróleo, factorías químicas y petroquímicas, instalaciones de almacenamiento y distribución de productos químicos o petroquímicos, instalaciones para el abastecimiento de combustibles líquidos que posean terminales de carga o descarga de hidrocarburos en zonas portuarias y astilleros e instalaciones de reparación naval.

La competencia para determinar las instalaciones concretas de recepción de residuos y medios que resulten precisos corresponde a Capitanía Marítima.

Las instalaciones de recepción de residuos han de ser autorizadas por la Dirección General de la Marina Mercante si son flotantes, o la Comunidad Autónoma si se encuentran en tierra firme; ello con independencia del contrato con la Autoridad Portuaria si se presta en régimen de gestión indirecta, como servicio portuario que es el servicio Marpol de recepción de residuos oleosos (RD 438/1994), y de la oportuna autorización o concesión de utilización del dominio público portuario.

El marco competencial sobre el ámbito portuario es complejo y además se ha de tener en cuenta la adaptación de la Directiva Marco del Agua (DMA) al ordenamiento jurídico español. En la DMA se incluyen las “aguas costeras” en las competencias de las Confederaciones Hidrográficas (Ministerio de Medio Ambiente) en lo relativo a la conservación de la calidad de la masa de agua. Aspecto nunca antes contemplado en el ámbito competencial de las Autoridades Portuarias o de Marina Mercante.

5. ENCUADRE GEOGRÁFICO E HISTÓRICO

5.1. Breve Descripción Histórica

La ciudad de Cartagena y su puerto mercante se ubican en la costa mediterránea española, en su zona sureste (Figura 1), Cartagena pertenece a la Comunidad Autónoma de Murcia, y es la segunda ciudad en importancia con unos 170.000 habitantes.



Figura 1. Situación Geográfica

El primer asentamiento portuario del cual se tiene constancia data del siglo VIII a.C. y corresponde a la ciudad de Mastia (Figura 2a). En el año 223 a.C. el caudillo cartaginés Asdrúbal funda la ciudad con el nombre de Quart Hadas (Ciudad Nueva) en memoria de su Cartago africana (Tornero Gómez, 2000).

Es en el año 209 a.C. cuando sufre la conquista por Roma, por Publio Cornelio Escipión, pasando a denominarse Cartago Nova (Figura 2b). Durante los siglos II y III, los Vándalos y otros pueblos germánicos dejan sentir su paso por la ciudad (Tornero Gómez, 2000).

En el año 555, desembarcan tropas bizantinas enviadas por el emperador Mauricio, pasando Cartagena a ser capital de provincia hasta el año 615, en ese momento, Sisebuto, rey visigodo, destruye la ciudad.

Con la llegada de los árabes, Cartagena es conocida como Qartayanna al Halfa hasta que en el año 1245 es reconquistada por Fernando III de Castilla, quién le otorga en 1246 el Fuero de Córdoba, incorporándose la ciudad a la corona de Castilla, ya bajo el reinado de los Reyes Católicos (siglo XV) (Figura 2c).

Durante el siglo XVIII, la ciudad es invadida por los ingleses y posteriormente liberada por el Duque de Berwick, al servicio de los borbones franceses.

La estructura moderna del puerto se debe a los primeros borbones (Figura 2d). Felipe V lo declaró, en 1728, capital del Departamento Marítimo del Mediterráneo e inició las obras de construcción del Arsenal que dio gran auge a la ciudad. Para el asentamiento de esta dependencia naval se eligió la parte más interior y occidental de la bahía, para lo que hubo de construirse un malecón que desviara las aguas de la rambla de Benipila, que desembocaba en el puerto, para hacerla salir al mar por la ensenada de la Algameca Chica.

Carlos III activó el movimiento comercial del puerto y le dotó de nuevos muelles más cercanos al corazón de la ciudad civil, para sustituir al antiguo fondeadero que había sido ocupado por el Arsenal y su dársena.

En el siglo XIX se construyó el muelle y el faro de “La Curra” y en frente el segundo faro conocido como “Navidad” (Figura 3).

En el siglo XX, la ciudad y toda la comarca, sufren una profunda crisis económica. Durante la guerra civil española permanece del lado de la Segunda República hasta el final de la contienda, razón por la que sufre duros castigos y una fuerte represión.



a) Puerto Cartagines



b) Puerto Romano



c) Puerto Árabe



d) Puerto en la época borbónica

Figura 2. Desarrollo histórico del puerto de Cartagena

(Fuente: Autoridad Portuaria de Cartagena)

El desarrollo comercial de este puerto tuvo su base en la instalación de la gran refinería de petróleo en la bahía de Escombreras en 1950, destinada a abastecer por cabotaje los puertos mediterráneos españoles y, por ferrocarril, al centro y cuadrante sureste peninsular. En 1957 se instaló una gran central termoeléctrica y, posteriormente, otras industrias petroquímicas (Morales, 2004) (Mapa I, Anexo I).



Figura 3. Puerto de Cartagena en la actualidad

En la década de los ochenta del pasado siglo, con la construcción del muelle de graneles Príncipe Felipe, de 350 metros de longitud y 16 metros de calado en la dársena de Escombreras, se inicia su proceso expansivo actual, que conllevó la instalación de la planta de gasificación de ENAGAS y proyectos de construcción de nuevas centrales térmicas (Mapa I, Anexo I).

El inicio del siglo XXI supone para el puerto de Cartagena una nueva etapa donde se desarrollan diversos proyectos que van a modificar su estructura de manera significativa.

En la dársena de Cartagena se lleva a cabo desde los años noventa la integración del área portuaria en el entramado urbano mediante el desarrollo de zonas de ocio, cultura y deporte, junto con la mejora de las infraestructuras portuarias existentes y nueva construcción de muelles para embarcaciones recreativas y turismo (Figura 4).



Figura 4. Interior Dársena Cartagena



Figura 5. Interior Dársena de Escombreras

Esta actividad portuaria creciente, ha exigido la planificación de una ampliación de muelles en la dársena de Escombreras (Figura 5) y que supone un nuevo dique desde la Punta de los Aguilones hasta las proximidades de la Isla de Escombreras y su proyección hacia el NW (Figura 3), con la finalidad de conseguir una lámina de agua abrigada de dimensiones similares a la existente en la actualidad y un calado de 15 a 20 metros. En su ángulo sur-sureste se ha rellenado para triplicar la superficie disponible de maniobrabilidad de mercancías. También se ha construido un nuevo pantalán que atenderá a la carga y descarga del petróleo y sus derivados. Estas obras estarán operativas en 2007 (Morales, 2004).

5.2. Evolución del Puerto de Cartagena

El Puerto de Cartagena está situado a $0^{\circ} 59'$ de longitud W y $37^{\circ} 35'$ de latitud N, frente a la gran ruta marítima mundial de Europa Occidental con los países asiáticos del Océano Índico y del Pacífico Occidental (Morales, 2004).

Ocupa parte de una extensa bahía exterior, delimitada por los accidentes geográficos de Cabo Tiñoso y de la Punta de los Aguilones (Figura 3).

Actualmente el Puerto de Cartagena es uno de los más importantes del frente costero del sureste y sur peninsular junto con Algeciras. Cuenta con dos dársenas independientes, la de Cartagena y la de Escombreras, separadas entre sí por una distancia de 1,5 millas por mar y 5 km por carretera. Las dársenas tienen una superficie de 225 ha (Zona I) y un fondeadero en el antepuerto de 4446 ha (Zona II). (Figura 6, Tabla 1). Sus muelles miden en la actualidad más de 5.000 metros de longitud, con calados de entre 6 y 12 m en la dársena de Cartagena y de 10 a 21 m en la de Escombreras.

SUPERFICIES DE FLOTACIÓN (ha)			
ZONA I	Cartagena	Escombreras	Total
Comerciales	112,73	105,18	217,91
Pesqueras	1,23	0,17	1,40
Resto	4,96	1,23	6,19
ZONA II (Fuera de dársenas)			
Accesos	Fondeadero	Resto	Total
209,30	4.462,6	106,10	4.778
SUPERFICIE TERRESTRE (ha)			
Almacenes	Viales	Resto	Total
52,16	22,60	97,58	172,34

Tabla 1. Superficies de Flotación y Terrestre del Puerto de Cartagena
(Autoridad Portuaria de Cartagena, 2006)

Destacar la preocupación por los valores histórico-culturales y medioambientales del Puerto de Cartagena, el cual ha cedido espacio a la ciudad, en la dársena de Cartagena (Figura 6), y ha eliminado de sus muelles actividades potencialmente contaminantes, al tiempo que el dique más próximo a la ciudad se ha destinado al atraque de una flota turístico-deportiva. Mientras que, a la dársena de Escombreras, se han desplazado todos aquellos tráficos de mercancías que representan riesgo ambiental para sus habitantes, especializándose en carga y descarga de productos petrolíferos, gas natural y demás mercancías contaminantes, tales como graneles sólidos químicos (Autoridad Portuaria de Cartagena, 2006).

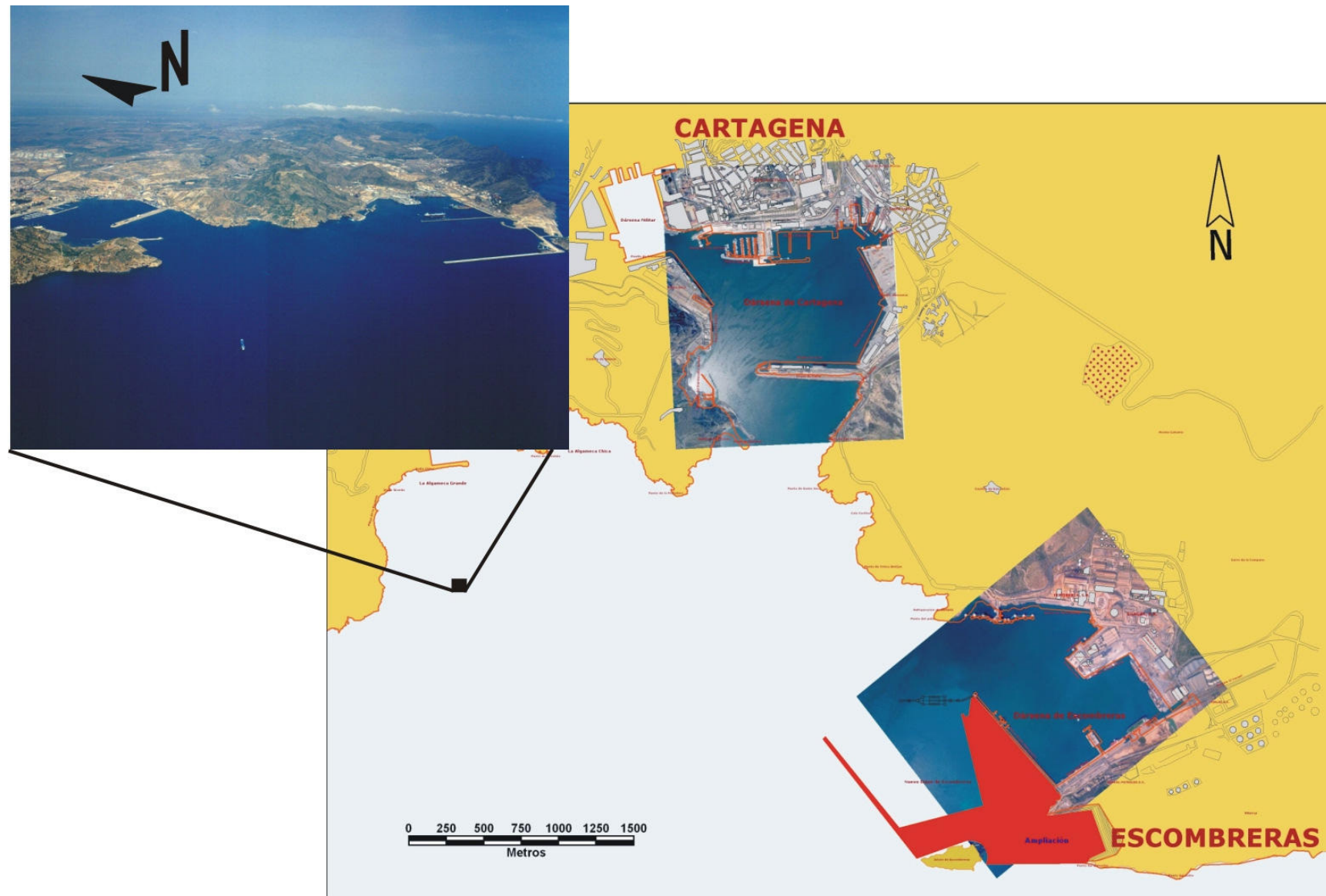


Figura 6. Vistas aéreas del Puerto de Cartagena

5.3. Impactos potenciales

El medio marino es enormemente complejo por su hidrodinámica, a la vez que sensible a la influencia de los contaminantes originados por la actividad humana, pudiendo provocar los vertidos de tierra a mar efectos irreversibles en los ecosistemas marinos, así como afectar a la calidad de sus aguas.

Las aguas litorales son el medio receptor de contaminantes aportados fundamentalmente por los vertidos de aguas residuales de núcleos urbanos e industrias ubicados en la costa o próxima a ella y por aquellos de origen agrícola que se eliminan al mar conjuntamente con las aguas dulces de las ramblas.

En el Puerto de Cartagena existe una elevada actividad industrial, principalmente en la dársena de Escombreras, con una repercusión económica importante, la cual puede producir, sino está bien regulada, una serie de impactos ambientales que pudieran afectar al medio marino.

5.3.1. Tráfico portuario y operaciones de carga y descarga

En cuanto a las operaciones de carga y descarga, la infraestructura portuaria cumple varias funciones: entrada de crudos, gas natural y otras mercancías de ultramar, abarcando un espacio marítimo muy amplio articulado en torno a los ejes de comunicación con el Caribe, Golfo Pérsico, Norte de África, a los que hay que sumar la relación con Europa tanto para las entradas (de graneles sólidos, contenedores,...) como para las salidas (producciones agroalimentarias murcianas y regiones vecinas, plásticos, gasolinas y otros) (Morales, 2004).

El tráfico portuario lo configuran mayoritariamente los graneles líquidos y, en menor medida, le siguen los sólidos y la mercancía en general (Tabla 2).

	2005	2006
MERCANCÍAS (Tm)		
Graneles líquidos	20.802.409	19.331.885
Graneles sólidos	5.020.128	5.157.463
Contenedores	390.497	266.503
Mercancía General	842.628	845.043
Avituallamientos	130.207	12.946
Pesca	913	1.410
TOTAL	27.186.782	25.615.240
OTROS MOVIMIENTOS		
Pasajeros en tránsito	28.413	30.606
Nº Buques	1.693	1.652

Tabla 2. Movimiento anual de mercancías y otros movimientos
(Autoridad Portuaria de Cartagena, 2006)

Estas actividades generan una serie de agentes potencialmente contaminantes que pueden dar lugar a vertidos industriales o urbanos desde tierra o desde los buques que afectarían al área de servicio portuario.



Figura 7. Muelle de contenedores
(Dársena de Cartagena)



Figura 8. Muelle de barcos de metano
(Dársena Escombreras)

Estas circunstancias suponen posibles focos de contaminación puntuales y dispersos que, a la larga, pueden ser significativos. La presencia de los astilleros en la dársena de Cartagena aumenta sensiblemente el riesgo de contaminación por varada de buques (reparación y limpieza, Figura 7).

En situación diferente se encuentra la dársena de Escombreras (puerto de atraque de petroleros por excelencia), en el que las actividades contaminantes se centran en la manipulación de graneles, tanto sólidos (minerales, vegetales y abonos fertilizantes) como líquidos (sobre todo productos petrolíferos y químicos) (Figura 8).

Por otro lado, existen una serie de zonas de fondeo para buques, hasta catorce, fuera de las dársenas. Así, se puede zonificar la bahía en tres, una zona próxima a cabo Tiñoso en el que se genera una situación de hipotético riesgo especial (derivada de las dos zonas de fondeo a escasos treinta metros de la costa), una intermedia, desde Cala Águilas hasta la punta Terrosa, de escaso riesgo y capacidad de vertido poco importante, asociada al combustible de los buques “metaneros” y de los petroleros de “pequeño” tamaño, y una tercera, que iría desde el último cabo hacia el este (Isla de Escombreras), en la que el riesgo es máximo, por la posición de los lugares de fondeos de los grandes buques y la entrada a las dársenas de Cartagena y Escombreras, respectivamente (Mapa I, Anexo I).

5.3.2. Actividades Industriales

Dada la dilatada historia del puerto de Cartagena y su tradición industrial se han tenido en cuenta tanto las actividades industriales pasadas como las actuales.

5.3.2.1. *Actividades Industriales Históricas*

Hasta el siglo XVIII, con la entrada en funcionamiento de los astilleros, las actividades industriales centradas en la dársena de Cartagena fueron de tipo pesquero y carga del mineral extraído en las áreas mineras próximas.

A partir del siglo XIX y, fundamentalmente, en la segunda mitad del XX, se instalaron importantes actividades industriales.

Dársena de Cartagena

A continuación se describen los vertidos históricos que se localizan en la Figura 9.

- a) Vertido al Túnel del Armarjal; zona interior de Cartagena (junto a las instalaciones de la Autoridad Portuaria) fué descrito como el más contaminante (CEDEX, 1983).

Situado en el Muelle de Alfonso XII, a él vierten las aguas de un cauce público en el cual vertía Unión de Explosivos Río Tinto S.A. Dichos vertidos procedían de la fabricación de sulfato de potasa, del circuito de refrigeración de la planta de sulfúrico y de la fabricación de fosfato bicálcico.

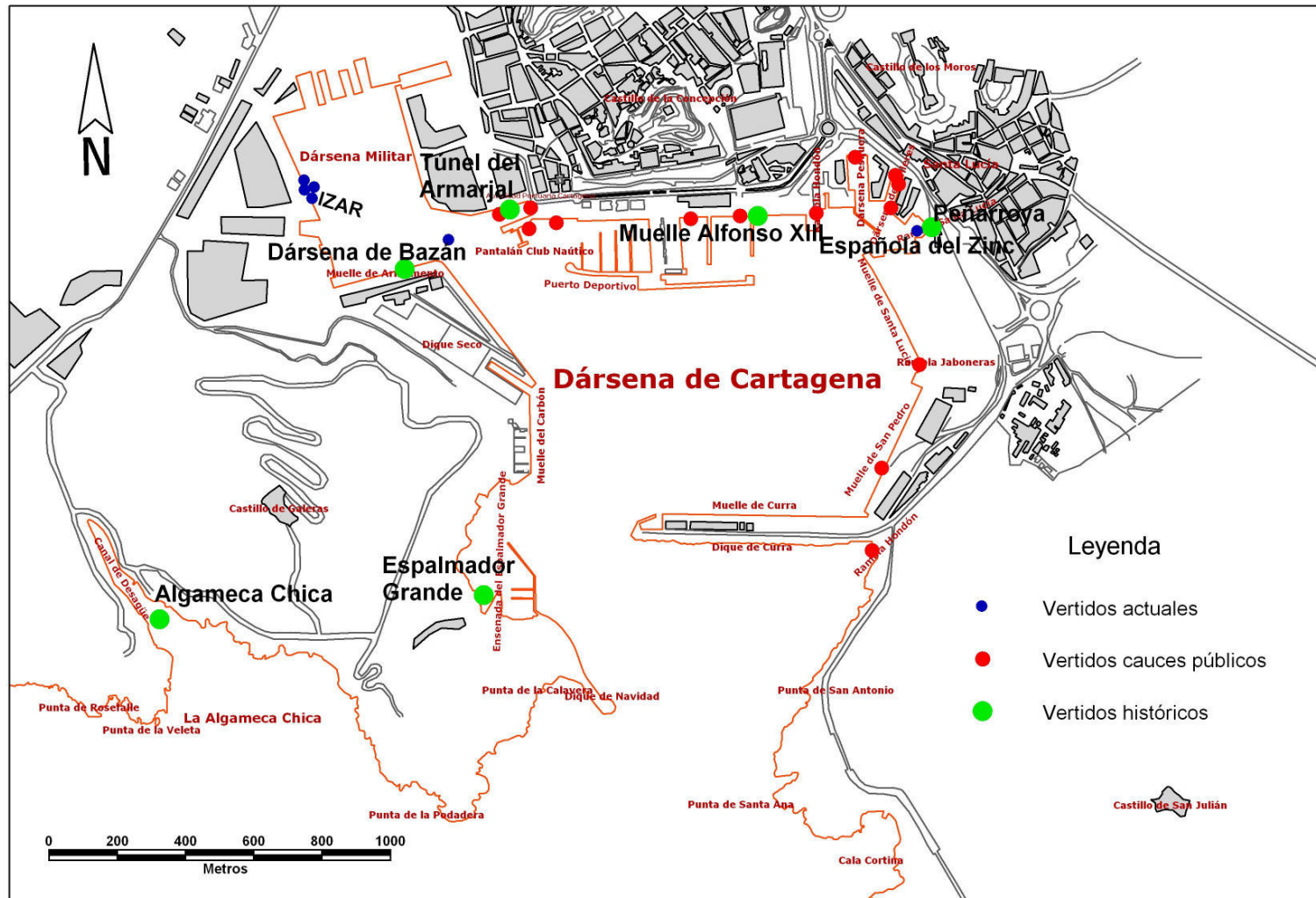
Los residuos procedentes de la fabricación de sulfato de potasa y los del circuito de refrigeración iban a unas balsas de recuperación, en cambio, los procedentes de la fabricación de fosfato bicálcico iban a dos balsas de decantación.

En esta zona también se vertían las aguas residuales de la zona este de la ciudad.

- b) Vertido de la empresa Peñarroya en la bomba de Santa Lucía.

En esta zona también existen dos ramblas en las que en la actualidad ocasionalmente se vierten aguas residuales.

- c) Vertido urbano en la dársena de Bazán.
- d) Vertido en la bocana del Puerto, procedente del desguace de barcos en la Ensenada del Espalmador Grande.



Dársena de Escombreras

Los vertidos de esta dársena se localizan en la figura 10.

- a) Vertido de la Empresa Nacional de Fertilizantes S.A. (ENFERSA), este vertido procedía de las aguas del sistema húmedo de extracción de cenizas de los hornos de tostación de piritas para la fabricación de ácido sulfúrico.
- b) Vertidos procedentes de la empresa Abonos Complejos del Sureste S.A. (ASUR), que estaban constituidos por aguas de los reboses de las torres de limpieza de gases de granulación, condensado de proceso de la unidad de nitrato amónico y las refrigeraciones de bombas de ácido nítrico y nitrato amónico.
- c) Vertidos de la Central Térmica de Hidroeléctrica Española S.A., situada al sur de la dársena. Utiliza agua marina para refrigeración ($10.22 \text{ m}^3/\text{s}$) y descargaba $7 \text{ m}^3/\text{s}$ en el interior de la dársena y $15 \text{ m}^3/\text{s}$ en el exterior, en el inicio del dique Bastarreche. Este vertido aún existe.
- d) Vertidos de la Empresa Nacional de Petróleo S.A. (EMPETROL). El vertido se realizaba junto al arranque del dique de Bastarreche, antes de la salida de la Central Térmica. También vertía a la Rambla del Fangal, no de forma continua, pero sí con cantidades importantes de hidrocarburos.
- e) Vertidos del Poblado de Escombreras y distintas dependencias de la Refinería, constituidos por aguas residuales.

Zona Exterior

- a) Vertido a la Algameca Chica: Rambla de Benipila cuyo escaso caudal procedía en su mayoría de la zona militar y de la Empresa Nacional Bazán, más el rebosadero general de la ciudad. Este punto de vertido aún está activo de forma esporádica.

En la tabla 3 se resumen las características de los vertidos más importantes, los cuatro primeros corresponden a la dársena de Cartagena, el siguiente a la zona exterior y los cuatro últimos a la dársena de Escombreras.

Zona	Vertido	T ^a °C	Turbidez UFT	NH ₄ ⁺ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁼ mg/l	Zn mg/l	Fe mg/l	Cd µg/l	Cu µg/l	Pb µg/l	Hg µg/l
Dársena de Cartagena	Túnel del Armarjal	32	50	1,96 (0,04)	5 (4,2)	0,23 (0,005)	6,78 (2,21)	50	2,28	480	-	688	22,4
	Peñarroya	40	13,5	0,07	2,8	0,17	3,68	-	-	-	-	-	-
	Muelle de Alfonso XII (urbano)	-	-	1,32	0,41	0,06	1,94	0,46	-	-	-	-	-
	Dársena de Bazán (urbano)	-	-	1,50	0,4	0,13	1,21	-	-	-	-	-	-
Zona Exterior	Algameca Chica (urbano)	-	-	2,02 (0,1)	5,35 (0,2)	0,282 (0,023)	8,50	-	0,12	-	-	-	-
Dársena Escombreras	Hidroeléctrica Española (interior)	30	-	0,84	2,25 (4,73)	0,104	0,05	-	-	-	-	-	-
	Hidroeléctrica Española (exterior)	26 (26)	-	0,24 (2,83)	0,5 (0,06)	0,021 (0,005)	0,028	-	0,46	-	-	103	-
	ENFERSA y ASUR	-	30	1,05 (0,94)	2,8	0,206 (0,191)	0,077	1,22	4,80	-	448	568	0,70
	EMPETROL	-	-	0,53	0,061	0,003	0,016	-	-	-	-	-	-

Los valores entre paréntesis corresponden a concentraciones medidas a 100 m del punto de vertido.

Tabla 3. Resumen vertidos históricos (CEDEX, 1983).

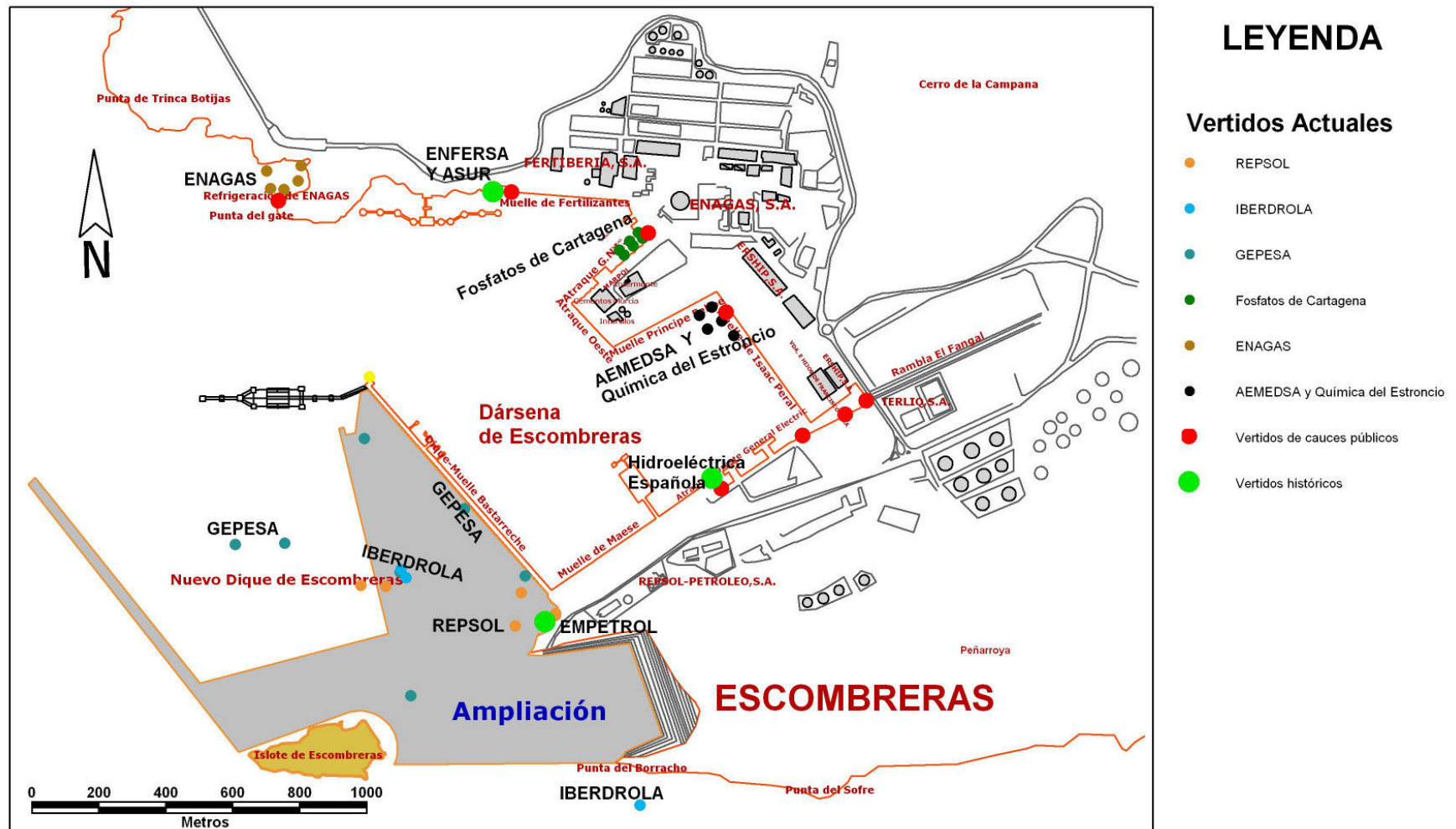


Figura 10. Vertidos en la dársena de Escombreras.

5.3.2.2 Actividades Industriales Actuales

La ciudad de Cartagena se caracteriza por una fuerte implantación industrial con un número aproximado de 650 empresas dedicadas a esta actividad, destacándose el sector metalúrgico en primer lugar, y, en segundo, la industria manufacturera.

El sector químico, situado en su gran mayoría en la dársena de Escombreras, también es muy importante tanto a nivel económico como medioambiental, registrándose 22 centros de producción. Entre ellas se incluyen las de refino de petróleo (fundada la primera de ellas en los años 40) y tratamiento de combustibles nucleares, con 2 empresas y 3 centros operativos, respectivamente. Por otro lado, existen 12 industrias relacionadas con la producción y distribución de todo tipo de energía, gas y agua, con 18 centros o establecimiento operativos de gestión (Morales, 2004).

Gran parte de las materias primas usadas en la zona proceden de las mercancías gestionadas en el puerto. La mayoría de las mercancías descargadas son petróleos, gasolinas, gas-oil, etc., por lo que, en líneas generales se asume que existe un alto riesgo de incidentes o vertidos en la dársena de Escombreras.

Existe un elevado número de empresas con autorización de la Comunidad Autónoma de Murcia para verter al mar desde tierra en la zona de estudio (Figuras 9 y 10, Tabla 4).

EMPRESA	ZONA DE VERTIDO
ZINCSA	Dársena de Cartagena
E.N. BAZÁN CNM, S.A.	
IZAR (dársena militar)	
REPSOL Petróleo	Dársena de Escombreras
GEPESA	
Bunge Iberica	
ENAGÁS, S.A.	
Química del Estroncio	
Central Térmica de IBERDROLA	
Aceites Esenciales del Mediterráneo (AEMEDSA)	
AES Corporation	
IBERDROLA Ciclo Combinado	
REPSOL YPF/BP AMOCO	
Fosfatos de Cartagena	

Tabla 4. Relación de empresas con autorización de vertido de la Comunidad Autónoma de Murcia en 2004 (Fuente: Junta de Comunidades de Murcia).

Algunos de estos vertidos han cambiado su localización al finalizar las obras de ampliación de la dársena de Escombreras en 2007.

Además de estos vertidos existen distintos puntos de vertido de cauces públicos (ramblas y desagüe de pluviales) localizados por la Autoridad Portuaria de Cartagena (Figuras 9 y 10). Los más importantes debido a las descargas esporádicas de vertidos de procedencia desconocida son la Bomba de Santa Lucía, la Algameca Chica y la Rambla del Fangal donde además y debido a las obras que se están realizando en los terrenos de la zona portuaria de Escombreras (2004-2005), se producen vertidos de

hidrocarburos producto de la removilización de terrenos contaminados que han obligado a la Autoridad Portuaria de Cartagena a situar una barrera de contención y bombear periódicamente la desembocadura de la rambla para evitar la entrada de estos vertidos a la dársena de Escombreras.

En general se observa como la presión sobre la dársena de Escombreras es actualmente mayor que la que sufre la de Cartagena ya que los vertidos industriales se han visto sustancialmente reducidos en esta última.

5.3.3. Dragados

Una de las actividades clásicas de los puertos es el dragado y mantenimiento de sus dársenas lo que produce, con cierta frecuencia, problemas medioambientales. En el Puerto de Cartagena no se ha dragado desde el año 2000, y desde 1995 no se han vertido al mar los sedimentos extraídos.

La mayoría de estos dragados se han realizado como consecuencia de la necesidad de aumento de calado en sus dársenas o para obras de mejora portuaria, como la actual en la dársena de Escombreras.

Los estudios realizados por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas desde 1983 (CEDEX, 1983, 2001), evidencian que los sedimentos dragados están contaminados por mercurio (Hg), cadmio (Cd), y zinc (Zn), además de plomo (Pb) en varios puntos, catalogándose como material muy contaminado, adscrito a la categoría III de las actuales “Recomendaciones para la Gestión del Material Dragado en los Puertos Españoles” (CEDEX, 2001). Pertenecen a esta categoría, aquellos materiales que contienen contaminantes específicos o que causan respuestas biológicas superando los niveles de acción 2 (Tabla 5) y, por tanto, se consideran inadecuados para el vertido al mar, por lo que se han derivado a rellenos portuarios en su totalidad (CEDEX, 2001).

Hg	Cd	Pb	Zn	Ni	Ar	Cr	Cu
3	5	600	3000	400	200	1000	400

Tabla 5. Valores de Niveles de Acción 2 en metales pesados en sedimentos
(mg/kg de materia seca) (CEDEX, 2001)

6. MEDIO FÍSICO

6.1. Climatología

La comarca de Cartagena es una de las más cálidas y secas de Europa, con un clima mediterráneo semiárido y con elevadas temperaturas estivales que, en la línea de costa, se ven suavizadas por las brisas marinas. Como consecuencia de un clima templado en invierno y de veranos muy cálidos, las temperaturas medias anuales ascienden a unos 18°C (Tabla 6), siendo los meses de temperaturas medias más altas julio y agosto y el mes más frío enero (CEDEX, 2005a).

Las precipitaciones anuales inferiores a los 300 mm, la irregularidad interanual y la concentración de las lluvias en pocos días, con aguaceros muy fuertes concentrados en sólo unos días o incluso horas, son las características climáticas de la zona (CEDEX, 2005a).

Temperatura máxima absoluta	38 °C
Temperatura mínima absoluta	-1 °C
Temperatura media del mes más cálido	25 °C
Temperatura del mes más frío	11 °C
Temperatura media anual	18 °C

Tabla 6. Serie de temperaturas para un periodo de 25 años
(Autoridad Portuaria de Cartagena, 2006)

La humedad permanece constante a través de las estaciones con valores cercanos al 78%.

La dirección reinante de los vientos en la zona es suroeste. En general, los vientos dominantes en esta zona son (CEDEX, 2005a):

- Vientos del oeste o del noroeste que proceden de la meseta, siendo siempre secos, con temperaturas muy bajas en invierno y elevadas en verano. Son los vientos predominantes en invierno.
- Vientos procedentes del este o del sureste, predominan en verano y son vientos de levante que, por su procedencia marina, suelen ser frescos y cargados de humedad, aunque no provocan lluvias.
- Uno de los vientos más típicos de las costas de Cartagena es el lebeche, de procedencia suroeste, húmedo en invierno y seco en verano, produciendo sensación de bochorno.

6.2. Geología y Geomorfología

En la zona de estudio se describirá de forma separada el litoral emergido y el litoral sumergido.

6.2.1. Litoral Emergido

El litoral emergido es la franja de terreno influenciada indirectamente por el mar, de anchura variable, que comienza donde termina la influencia directa marina (Calvín, 2003).

La actual topografía costera de la Región de Murcia es consecuencia de su contexto geológico (extremidad suroriental de las Cordilleras Béticas) y de los procesos tectónicos y de modelado que han tenido lugar a través del tiempo.

Desde el punto de vista geológico, los relieves costeros pertenecen a la zona Bética, de las tres zonas que se distinguen en las Cordilleras Béticas. En función de sus características litológicas, estratigráficas y estructurales, en la zona Bética se distinguen tres complejos superpuestos, diferenciados por el grado de metamorfismo regional alpino que han sufrido (ITGE, 1993), (Figura 11):

- Complejo tectónico superior o Maláguide, formado por calizas, dolomías y areniscas. Aflora en la Sierra de Cartagena.
- Complejo tectónico Alpujárride, formado por calizas, dolomías, micaesquistos y rocas volcánicas. Aflora en todas las sierras que rodean el Campo de Cartagena.
- Complejo tectónico inferior o Nevado-Filábride, formado por esquistos, pizarras y cuarcitas. Aflora en todas las sierras costeras desde Cabo de Palos a Punta Parda.

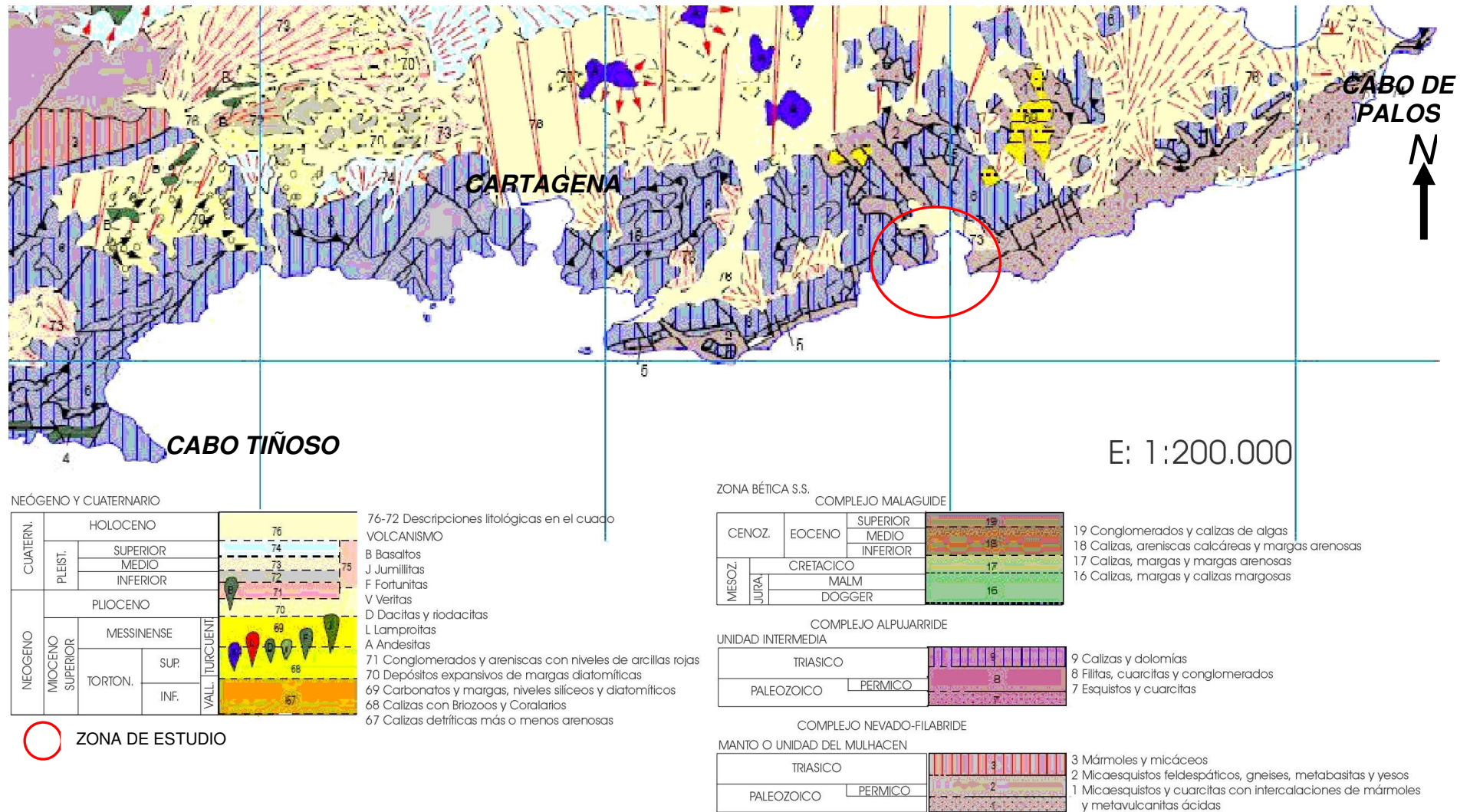


Figura 11. Complejos Tectónicos en el entorno de Cartagena (mapa 1993 en www.igme.es)

Entre estos relieves aparecen una serie de depresiones, llanuras costeras, donde se han acumulado materiales neógenos del Terciario (margas, arcillas, areniscas y conglomerados) y aluviales del Cuaternario (limos, arcillas y gravas). Son las llanuras costeras del Campo de Cartagena-Mar Menor, Mazarrón, Moreras y Cala Reona.

Fruto de esta compleja historia geológica la zona presenta una importante actividad minera, en la Sierra de Cartagena, en el distrito minero de La Unión, existen importantes yacimientos de plomo y zinc explotados desde la época fenicia, se trata de yacimientos hidrotermales de pirita, blenda y galena (ITGE, 1990).

Desde el punto de vista geomorfológico, el litoral de Murcia presenta una gran riqueza de formas costeras (Calvín, 2003):

- Costa acantilada alta, en la que el acantilado supera los 20 m de altura.
- Costa acantilada media, en la que la altura de éste está comprendida entre 2 y 20 m
- Costa rocosa baja, en ella la altura del acantilado está comprendida entre 0,5 y 2 m.
- Playas.

En la zona de estudio se presenta el tipo de costa acantilada alta en la zona exterior de las dársenas de Cartagena y Escombreras (Figura 12), existiendo obras artificiales en su interior.



Figura 12. Costa acantilada próxima a Punta Terrosa (Figura 3)

6.2.2. Litoral Sumergido

Esta Región del Mediterráneo, al estar encuadrada en la extremidad suroriental de las Cordilleras Béticas, estuvo sometida a una intensa deformación alpina y posteriores movimientos orogénicos. Así, la plataforma continental de la costa de Murcia es muy heterogénea, con importantes diferencias de pendiente de unos fondos a otros, junto con un importante número de elevaciones rocosas, algunas de las cuales al emerger por encima de la superficie del mar, dan lugar a islas e islotes (Calvín, 2003).

La distribución de los sedimentos que componen la capa superficial de la plataforma y de la parte superior del talud es función del tamaño de grano de los mismos, de tal forma que los granos más gruesos y pesados (gravas y arenas) se sedimentan más próximos a la costa, mientras que los de granulometría más fina (limos y arcillas) se depositarán más alejados de la misma. Esta pauta se rompe como consecuencia de ciertas actividades antrópicas costeras, como los dragados y la existencia de puertos.

La plataforma en el litoral de Murcia presenta dos tramos muy diferenciados (Calvín, 2003):

- De Cabo de Palos hacia el sur, donde se encuentra la zona de estudio (Figura 11), con plataforma reducida, variando su anchura de 2,5 a 10 km. El talud continental comienza entre los 100 y 200 m de profundidad.
- De Cabo de Palos hacia el norte, la plataforma se ensancha considerablemente y pasa de 15,5 km a 32 km, estando bien desarrollada. El talud continental comienza a partir de los 150 m de profundidad.

En la zona de estudio, el análisis batimétrico muestra que la cota -50 m se sitúa a una distancia muy corta de la línea de costa, lo cual avala la presencia de acantilados sumergidos, sin una plataforma de sedimentación inmediata en toda el área (desde Cabo Tiñoso a Punta Aguilones, Figura 11), como es el caso de cuencas subsidentes normales.

A partir de la cota de -50 m el relieve sufre un cambio brusco configurando una llanura de sedimentación más o menos plana sobre la que se depositan materiales arenosos, llegando a situarse la cota -100 m a distancias de poco más de 6 km de la costa. Esta plataforma continental es consecuencia de la historia geológica regional, siendo una cuenca de colmatación, parcialmente subsidente a consecuencia de la Orogenia Alpina. De ahí su heterogeneidad en el perfil costero, con importantes desniveles de unos fondos a otros y con la presencia de

elevaciones que generan islas e islotes, algunos de cierta importancia e interés, producidos por erosiones selectivas de materiales detríticos asociados a zonas de fracturación (Calvín, 2003).

La línea de -50 m establece lo que se denomina “cuenca base” en la que la morfología litoral (emergida) deja de condicionar la morfología sumergida y, por lo tanto, podemos describir como área de sedimentación y redistribución activa. Este límite es importante señalarlo ya que separa dos fenómenos geológicos sumamente interesantes, la erosión y removilización del material, y la sedimentación y transporte, con la reclasificación y redistribución del mismo en la cuenca de recepción. La franja situada entre la cota -50 m y el litoral, además, es en la que se va a encontrar un mayor desarrollo de fauna y flora marina, y la que más va a degradarse y sentirse amenazada en caso de impactos antrópicos.

Desde la cota -50 m hasta la de -100 m se considera una cuenca de recepción uniforme, relativamente llana, sin ningún tipo de irregularidad y con materiales detríticos no cohesivos procedentes, en su mayoría, de las zonas emergidas.

Según las características geomorfológicas de los fondos marinos del litoral murciano (situados por encima de los 50 m de profundidad) se clasifican en cuatro tipos (Calvín, 2003):

Tipo F1:

El litoral sumergido se caracteriza por estar formado en su totalidad por fondos blandos (arenas, fangos) que ganan profundidad suavemente debido a que tienen una pendiente más acentuada. Pueden aparecer o no franjas ocupadas por fanerógamas marinas. Son los fondos marinos propios de las playas.

Tipo F2:

- Acantilado rocoso, continuación del emergido, que alcanza profundidades comprendidas entre 0,5 y 10 m, pudiendo ser más o menos vertical.
- Franja no muy ancha de cantos y bloques a pie de acantilado. Puede faltar.
- Fondos blandos que ganan profundidad suavemente. Generalmente con franjas de fanerógamas.

Son los fondos propios de la costa de acantilados medios-bajos.

Tipo F3:

- Franja rocosa que se extiende hasta 12 ó 20 m de profundidad. Su configuración es de paredes verticales más o menos escalonadas y acumulación de bloques rocosos al pie de las mismas.
- Fondos blandos con fuerte pendiente. Generalmente sin fanerógamas marinas.

Son los fondos propios de la costa de acantilados medios-altos.

Tipo F4:

- Franja rocosa que alcanza profundidades comprendidas entre 20 y 50 m. Su configuración es de paredes verticales más o menos escalonadas y acumulación de bloques rocosos al pie de las mismas.
- Fondos blandos de fuerte pendiente. Generalmente sin fanerógamas marinas.

Son los fondos propios de la costa de acantilados altos y de algunas islas.

En la zona de estudio los tipos de fondos que aparecen son F1, F2 y F3 (Figura 13).

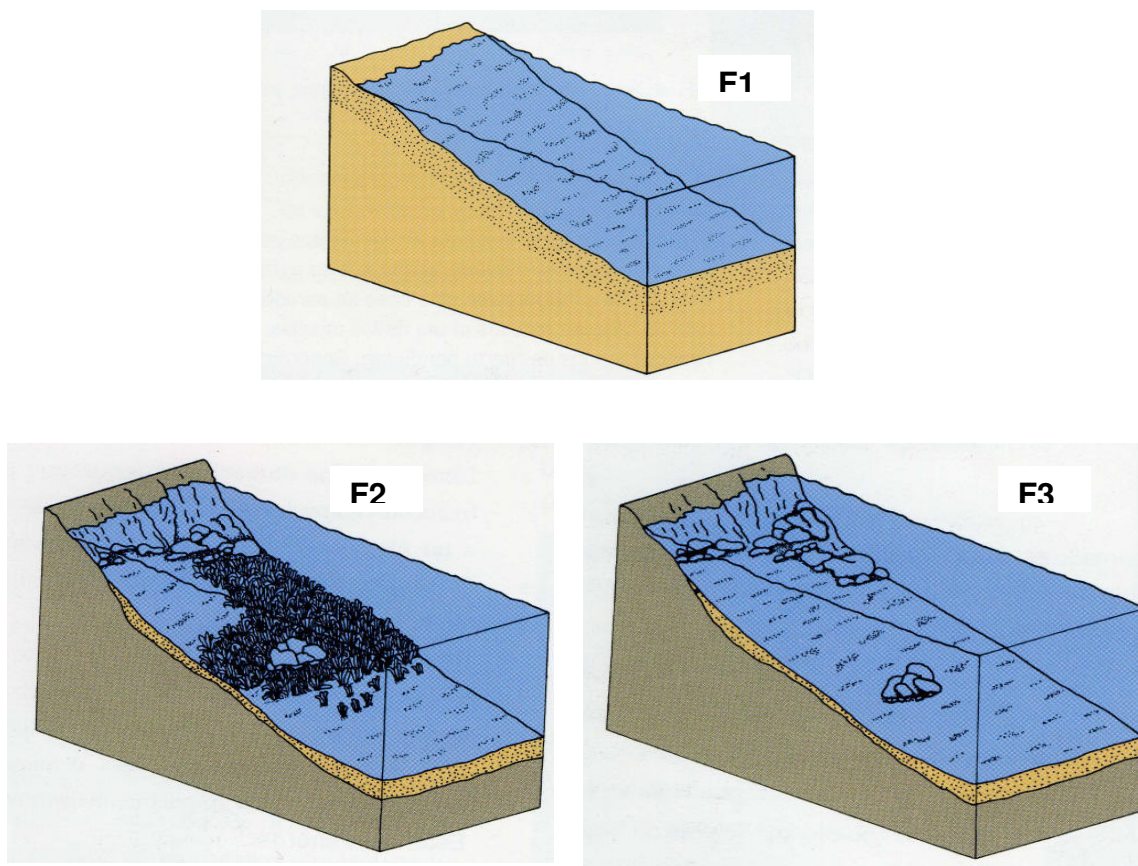


Figura 13. Fondos Tipo (F1, F2 y F3) en la zona del puerto de Cartagena (Calvín, 2003)

Los sedimentos superficiales de la zona de estudio pueden ser clasificados en tres tipologías generales (ITGE, 1990):

- **Facies Litoral Terrígena:** localizadas en el interior de las dársenas de Cartagena y Escombreras. Son facies modernas que se sitúan entre la costa y 28 m de profundidad, constituidas por sedimentos arenosos bien clasificados (arena fina a muy fina) con un porcentaje de carbonatos muy constante que se sitúa en torno al 40%.
- **Facies Mixta:** localizadas desde el límite oeste de la Algameca hasta cabo Tiñoso en una banda próxima a la costa. Facies modernas correspondientes a la transición entre facies terrígenas y calcáreas o de praderas de fanerógamas. Incluyen sedimentos en su mayor parte arenosos (90% arena media). La composición de la fracción grava es predominantemente biogénica, mientras que la de la fracción arena es terrígena, siendo la proporción de carbonato más elevada que en la facies litoral terrígena.
- **Facies de Plataforma Media:** localizadas en la zona exterior hasta 80 m de profundidad. La disminución del gradiente energético mar adentro da lugar a sedimentos con un tamaño de grano bastante fino. Se trata de limos areno-arcillosos, con un porcentaje de carbonato del 41% y un ligero predominio de componentes biogénicos en la fracción arena.

6.3. Hidrodinámica

La masa de agua que baña las costas de la Región de Murcia pertenece a un cuerpo de agua más amplio que, como consecuencia de estar sometido a un clima especialmente cálido y seco y de permanecer fuera de la influencia del agua atlántica entrante, se caracteriza por presentar los valores de salinidad más altos del litoral peninsular (Calvín, 2003).

En la costa de Murcia las temperaturas de la masa de agua son superiores a las colindantes, con un máximo de 24,8°C en agosto y un mínimo en febrero de 14,2°C, (Calvín, 2003).

El comportamiento de las masas de agua de esta zona responde al esquema típico de las latitudes en donde se encuentra, con una estratificación de las masas en verano y homogeneidad durante el invierno, con algunos meses en estado de transición. La termoclina empieza a formarse en los meses de abril-mayo y puede alcanzar profundidades que sobrepasan los -30 m. Su permanencia depende de la aparición de

los temporales otoñales, que en algunos años pueden retrasarse hasta bien entrado noviembre (Calvín, 2003).

En las costas murcianas se dan unos valores medios de mareas que oscilan en torno a 0,6 m de amplitud, siendo inducidas en gran medida por variaciones de la presión atmosférica y/o la actuación de determinados vientos (Calvín, 2003).

La carrera de marea en Cartagena es reducida, como en toda la costa mediterránea española. La máxima elevación del mar sobre el cero de las cartas marinas del Puerto es de +0,22 m y la mínima de -0,43 m, por lo que las variaciones máximas llegan a 0,65 m.

El régimen de circulación marina en el mar Mediterráneo viene definido por la corriente general del Mediterráneo de dirección oeste-este, en superficie, y de sentido opuesto en profundidad. La corriente superficial penetra por el Estrecho de Gibraltar bordeando el margen continental de la Península Ibérica, así en la zona de estudio el ramal de la corriente general del Mediterráneo pasa algo alejada de la costa, con dirección NE-SO y una velocidad aproximada de 0,5 nudos (Calvín, 2003).

Las corrientes costeras son mayoritariamente de carácter superficial y su intensidad dependerá de la fuerza del viento que las ha originado. Los vientos procedentes de poniente (NO a SO, invierno) refuerzan la corriente general, mientras que los vientos de levante (NE a SE, verano) frenan la acción de esta (ITGE, 1990).

Las direcciones de la corriente en el Puerto de Cartagena están condicionadas fundamentalmente por las condiciones del contorno de la bahía y los regímenes típicos de viento-oleaje de la zona (Figura 14).

En el interior de la dársena de Cartagena las corrientes son de poca intensidad sin dirección definida, mientras que en la bocana de esta dársena, la corriente presenta dirección sur por el canal de entrada al puerto con velocidad máxima de 50 cm/s (CEDEX, 1983).

En el centro de la bahía las corrientes toman dirección sur y velocidades máximas de 50 cm/s.

En la actual bocana de la dársena de Escombreras la corriente es paralela al dique de Bastarrece y con una velocidad máxima mayor de 25 cm/s. Entre la Punta de los Aguilones y la isla de Escombreras existen fuertes corrientes de fondo que salen de la bahía al mar (CEDEX, 2005a). Sin embargo debido a las obras de ampliación de la dársena de Escombreras, posiblemente este régimen de corrientes se verá alterado.

Con un régimen de viento de levante se producen en la zona exterior del puerto, corrientes que llegan a superar el nudo (aprox. 50 cm/s) dirigidas hacia el interior de la bahía y con movimiento dextrógiro (CEDEX, 1983).

Cuando disminuye el temporal de Levante se generan corrientes hacia el exterior con velocidades de 25 cm/s en la cota de 25 m de profundidad, provocadas por el gradiente hidrostático, tras la inicial entrada de agua en la bahía.

Con régimen de vientos soplando desde el tercer cuadrante (SO), Lebeche, las corrientes toman componente sur hacia mar adentro a lo largo de toda la bahía y desde todas las profundidades, aumentando la intensidad con el aumento de la profundidad (CEDEX, 1983).



Figura 14. Esquema general de corrientes en el Puerto de Cartagena realizado con datos de CEDEX, 1983 y 2005a.

7. METODOLOGÍA

La metodología de estudio seguida en esta Tesis se ha desarrollado en cuatro etapas. La primera corresponde a la etapa de recopilación bibliográfica que ha servido de base para la investigación y el diseño de las siguientes etapas.

La segunda etapa corresponde al diseño de las campañas de muestreo y planificación de la analítica necesaria para las diferentes tipologías de muestras, así como a la realización del trabajo de campo y laboratorio como se describe en este capítulo.

La tercera etapa consistió en la comprobación de los datos obtenidos y su archivo en una base de datos adecuada para su posterior tratamiento estadístico mediante el programa SPSS en su versión 12.0, y aplicación de herramientas GIS, en concreto la aplicación “Grid”, del programa Geomedia Professional de Intergraph. En esta etapa se llevó a cabo el análisis estadístico y espacial de los datos mediante las herramientas informáticas mencionadas.

Finalmente en la cuarta etapa se desarrolló el trabajo de gabinete necesario para elaborar los resultados de las etapas anteriores y la redacción de este documento.

7.1. Metodología de muestreo

La Directiva Marco del Agua (DMA) 2000/60/CE recoge la metodología para la caracterización de las aguas costeras mediante el establecimiento de los indicadores a utilizar.

De acuerdo con esto las aguas de la Zona de Servicio Marítimo Portuaria tendrían la categoría de “masa de agua superficial muy modificada, asimilable a agua costera” (DMA 2000/60/CE; anexo II, punto 1.1.). De la consideración de esta tipología se deriva la metodología expuesta a continuación.

La metodología de muestreo se definió en varias etapas, como se relaciona a continuación:

ETAPA 1. Definición del área de estudio y recopilación de las características hidromorfológicas, biológicas y físico-químicas:

La definición del área de estudio se estableció de acuerdo con el Ente Público Puertos del Estado. Tras conversación con diversas Autoridades Portuarias finalmente se seleccionó la Autoridad Portuaria de Cartagena debido a la variada problemática que presentaba la zona portuaria (puerto deportivo, puerto pesquero, puerto industrial) e interés en el seguimiento del proyecto.

Para efectuar la caracterización adecuada se procedió a la recopilación de la documentación bibliográfica y cartográfica existente sobre el área de estudio al objeto de generar una base de datos previa y completa que permitió dirigir las posteriores etapas a las áreas de mayor interés. La Autoridad Portuaria de Cartagena puso a disposición del proyecto documentación bibliográfica y cartográfica propia, además de medios materiales y personales para llevar a cabo la toma de muestras.

Los indicadores seleccionados siguiendo la Directiva 2000/60/CE (Anexo V, punto 1.1.5.) fueron:

1. Indicadores Biológicos: macroinvertebrados bentónicos
2. Indicadores Hidromorfológicos (corrientes, batimetría)
3. Indicadores físico-químicos en el agua:
 - Generales (transparencia, condiciones térmicas, condiciones de oxigenación, salinidad, nutrientes)
 - Contaminantes específicos (metales pesados, hidrocarburos totales)
4. Sedimentos: metales pesados y PAH's.

ETAPA 2. Diseño de la Red de Muestreo

En colaboración con la Autoridad Portuaria de Cartagena se procedió al diseño de la malla de muestreo para garantizar la completa caracterización del entorno. Para ello se tuvo en cuenta que la red de muestreo (figura 15) debe aportar una muestra por área de mallado representativa que permita la reproductibilidad del muestreo en campañas posteriores. Para establecer esta malla se empleó el método descrito en la norma ISO 5667-1:1980 (AENOR, 1997) para definir tanto el tipo de muestra a obtener (perfiles verticales y horizontales), como su sistema de acceso (embarcación) y sistema de referencia (localización GPS), así como la periodicidad del muestreo (trimestral).

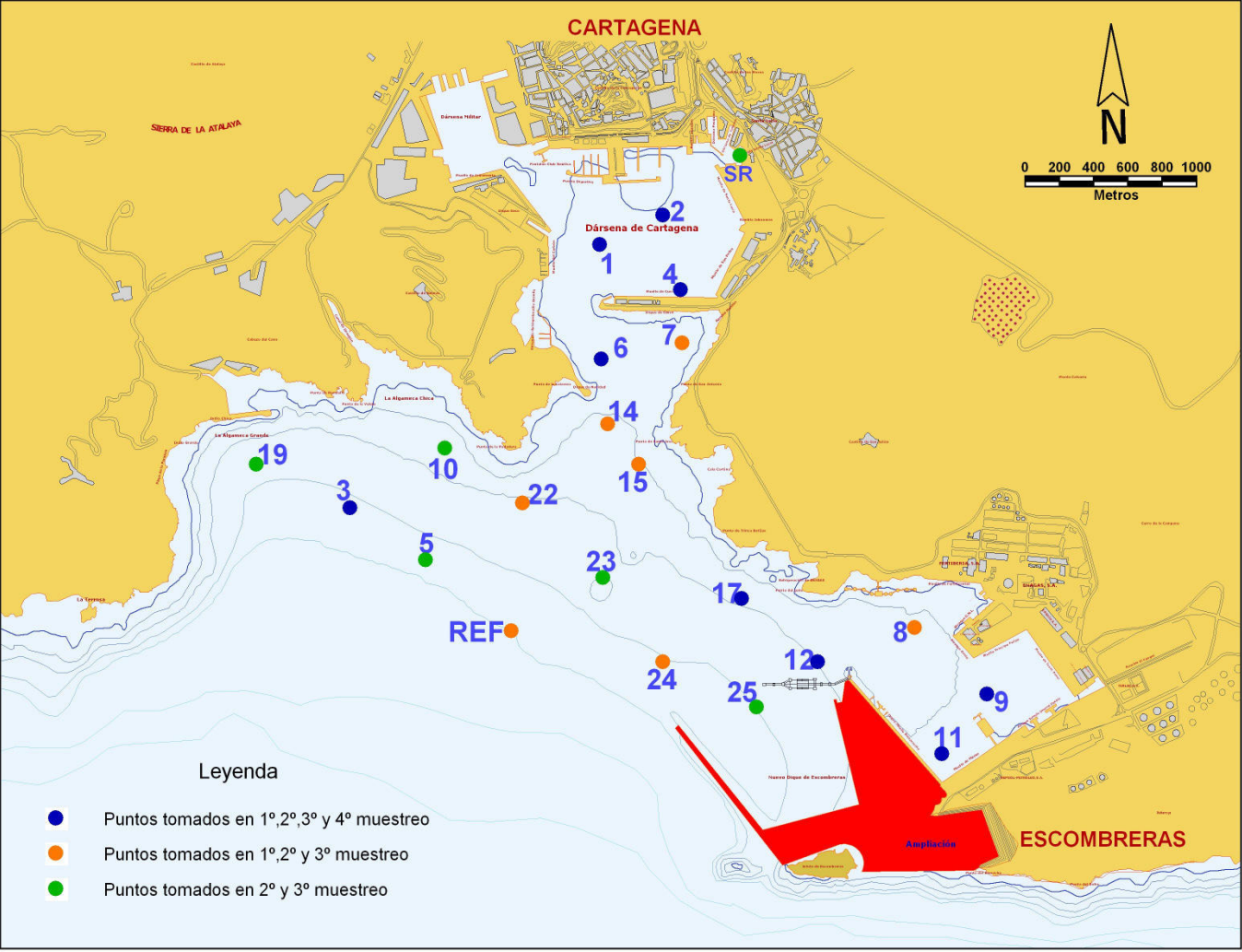


Figura 15. Red de muestreo

El diseño de la malla de muestreo tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- Caracterización del entorno: Áreas aledañas a las instalaciones portuarias para el establecimiento de la muestra de referencia (REF, Figura 15). Esta muestra se localizó en la zona exterior de la Zona de Servicio Portuario, en un área alejada de las posibles perturbaciones de la costa (vertidos, mareas, etc.) y con profundidad suficiente (50 m) para ser representativa de todos los perfiles verticales realizados.
- Caracterización de puntos singulares: Amarres, desagües, áreas de carga y descarga, abastecimiento de combustible, redes de drenaje, servicios comunes, etc.
- Caracterización de las dos dársenas (Cartagena y Escombreras).

ETAPA 3. Campañas de muestreo y análisis “in situ”

Se han llevado a cabo cuatro campañas de muestreo en 22 puntos (Figura 15) seleccionados según lo establecido en la ETAPA 2. En dichos puntos se han obtenido diferentes tipos de muestras (sedimentos, aguas, bioindicadores) como se relaciona en las Tablas 7 y 8. Son objeto de esta Tesis Doctoral las muestras de agua y sedimentos, los bioindicadores constituyen otra Tesis Doctoral que se desarrolla en la actualidad.

TIPO MUESTRA	Nº TOTAL DE MUESTRAS	Nº DE MUESTRAS MUESTREO 1	Nº DE MUESTRAS MUESTREO 2	Nº DE MUESTRAS MUESTREO 3	Nº DE MUESTRAS MUESTREO 4
Agua	264	48	72	78	31
Sedimentos	69	16	22	22	9
Bioindicadores	69	16	22	22	9

Tabla 7. Número total de muestras recogidas en las cuatro campañas de muestreo

PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS UTM		PROFUNDIDAD MAXIMA (m)	PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (m)				
	X	Y		1	5	10	20	40
1	678043	4162485	13	C	B	A		
2	678408	4162647	13	C	B	A		
3	676580	4160943	45	E	D	C	B	A
4	678515	4162217	13	C	B	A		
5	677028	4160644	46	E	D	C	B	A
6	678058	4161807	17	C	B	A		
7	678522	4161909	14	C	B	A		
8	679883	4160242	21	C	B	A		
9	680309	4159851	17	C	B	A		
10	677137	4161293	29	D	C	B	A	
11	680046	4159506	15	C	B	A		
12	679323	4160046	29	D	C	B	A	
14	678090	4161438	20	C	B	A		
15	678268	4161194	22	C	B	A		
17	678876	4160412	30	D	C	B	A	
19	676034	4161208	39	D	C	B	A	
22	677592	4160970	32	D	C	B	A	
23	678061	4160542	34	D	C	B	A	
24	678410	4160038	41	D	C	B	A	
25	678960	4159791	39	D	C	B	A	
REF	677527	4160223	51	E	D	C	B	A
SR	678867	4162996	6	SR				

Tabla 8. Puntos de muestreo y muestras tomadas en cada punto

Se ha contado con el apoyo logístico de la Autoridad Portuaria de Cartagena para la realización de las campañas de muestreo (embarcación y tripulación, Figura 16).



Figura 16. Embarcación de la APC empleada en las campañas de muestreo

La toma de muestras se llevó a cabo de acuerdo con la norma ISO 5667-2:1991 (AENOR 1997) como se describe a continuación:

- Localización exacta del punto de muestreo mediante GPS (latitud, longitud con una precisión de segundos) y sonda de profundidad (Tabla 8).
- La toma de muestras de agua a diferentes profundidades se llevó a cabo mediante un sistema dotado de control de profundidad (botella Ninski, Figura 17), y se determinaron los parámetros físico-químicos medidos “in situ”, mediante sonda multiparamétrica Idromar IM71 (Figura 18) conectada a un ordenador portátil dotado del software necesario para el control de la sonda y el almacenamiento de los datos obtenidos a intervalos de 10 segundos en cada punto de muestreo.

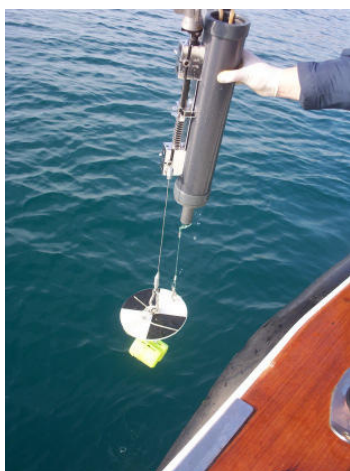


Figura 17. Botella Ninski para toma de muestras a diferentes profundidades



Figura 18. Sonda oceánica Idromar IM71

Las muestras de agua se recogieron en recipientes de polietileno de alta densidad, con 500 ml de capacidad, tres recipientes para las determinaciones de iones mayoritarios, nutrientes y metales pesados, manteniéndolas refrigeradas a 4°C. Para las determinaciones de compuestos orgánicos se utilizaron recipientes de vidrio topacio, de 1 l de capacidad con cierre de seguridad, estas muestras se congelaron, por lo cual el volumen máximo de llenado de los recipientes no excedió de 700 ml.

Las muestras se filtraron y estabilizaron en función de los parámetros a determinar, se etiquetaron y conservaron a 4°C para su envío a laboratorio.

- La toma de muestras de sedimentos se llevó a cabo mediante la utilización de una draga específica para este tipo de muestreo (draga Van-Veen, Figura 19). Dicha labor se efectuó en último término para que la movilización de sedimentos derivada de su recogida no interfiriese con la caracterización de la columna de agua.

Las muestras de sedimentos se conservaron refrigeradas a 4°C en recipientes de polietileno de alta densidad con cierre de seguridad hasta su llegada al laboratorio.



Figura 19. Draga Van-Veen para toma de sedimentos

- Para el muestreo de las comunidades de invertebrados bentónicos (bioindicadores) se utilizó una draga Van Veen para la toma de sedimentos (Figura 19). Las muestras se filtraron a través de un tamiz de 1 mm y se fijaron con formol al 10% (Figura 20). Estas muestras están siendo estudiadas en el departamento de Zoología Marina de la Universidad Autónoma de Madrid y constituyen una Tesis Doctoral independiente desarrollada en paralelo a esta.

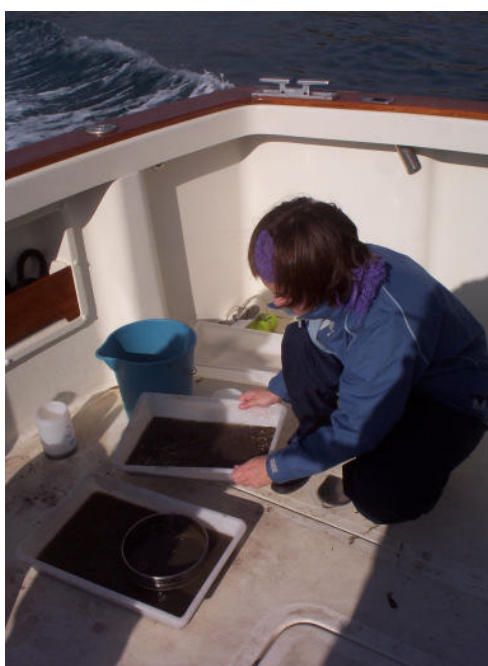


Figura 20. Toma de muestras de invertebrados bentónicos

El periodo de muestreo, en cada una de las cuatro campañas realizadas, tuvo una duración de 2 a 4 días (Tabla 9), en función del estado del mar (Tabla 10) y la disponibilidad de la embarcación, así en el 4º muestreo la velocidad del viento (Tabla 10) impidió la toma de las muestras situadas en el exterior de las dársenas.

MUESTREO	FECHAS		Nº PUNTOS MUESTREADOS
	INICIO	FINAL	
1º (diciembre)	9/12/2003	11/12/2003	16
2º (febrero)	17/02/2004	20/02/2004	22
3º (junio)	22/06/2004	25/06/2004	22
4º (octubre)	26/10/2004	28/10/2004	9

Tabla 9. Fechas de muestreo y número de puntos muestreados

Muestreo	Fecha	Temperatura del aire (°C)	Velocidad del Viento (Km/h)	Dirección del Viento	Altura de Ola (m)	Precipitaciones (mm)
1º	09/12/03	13,0	17,2	E-99º	0,44	0,10
	10/12/03	12,5	22,2	ESE-121º	0,04	0,18
	11/12/03	13,6	13,5	SW-236º	0,12	0
2º	17/02/04	12,1	13,9	ENE-73º	0	0
	18/02/04	10,7	9,1	ESE-104º	0,03	0
	19/02/04	11,2	18,5	E-98º	0	0
	20/02/04	12,9	17,3	ENE-77º	0,02	0,01
3º	22/06/04	23,0	7,94	SSE-151º	0,1	0
	23/06/04	23,7	8,53	SSW-202º	0,52	0
	24/06/04	25,5	6,48	S-170º	0,09	0,01
	25/06/04	24,5	16,0	NE-49º	0,01	0
4º	26/10/04	19,7	11,8	WSW-248º	0,26	0
	28/10/04	20,7	32,0	SW-224º	1,91	0

Tabla 10. Datos meteorológicos correspondientes a las fechas de muestreo

(Estación Meteorológica Puerto de Cartagena, Autoridad Portuaria de Cartagena, 2006)

7.1.1. Parámetros determinados “in situ” en aguas

Previo a la ejecución del muestreo y las determinaciones analíticas se realizó un periodo de calibración y puesta a punto de equipos y métodos analíticos mediante intercalibración con el Servicio Interdepartamental de Investigación (SIDI) de la Universidad Autónoma de Madrid y la Autoridad Portuaria de Barcelona, que dispone de un equipamiento similar, al objeto de obtener una metodología fácilmente extrapolable a otras áreas portuarias.

En el momento de la toma de muestras, mediante sonda multiparamétrica Idromar IM71 (Figura 18) se determinaron los siguientes parámetros mediante la realización de perfiles verticales de fondo a superficie, para una mayor estabilidad de las medidas, y con un intervalo de medida de 10 segundos por ser este el intervalo mayor de estabilización del sensor de oxígeno disuelto:

- Temperatura
- pH
- Conductividad eléctrica
- Salinidad
- Turbidez
- Oxígeno disuelto
- Redox
- Clorofila A

Se debe resaltar que en el segundo muestreo la sonda de profundidad del barco no funcionó, por lo cual, y para preservar la integridad de la sonda multiparamétrica, no se tomaron muestras ni datos a profundidades superiores a 20 m (Tabla 8), En el tercer muestreo se detectó un mal funcionamiento del detector de turbidez por lo cual se desestimaron esos datos, Durante el cuarto muestreo se presentaron condiciones climáticas adversas (Tabla 10) por lo cual el número de muestras tomadas fue menor (Tabla 9),

Para la determinación de los parámetros susceptibles de variación en un periodo muy corto de tiempo, se instaló un laboratorio portátil consistente en un equipo de filtración, un equipo para la realización de volumetrías y un espectrofotómetro portátil HACH modelo DRL 2000 (Figura 21) donde se acondicionaron las muestras para su conservación y se determinaron en un periodo inferior a 8 horas, desde la toma de muestras, los siguientes parámetros:

- Nutrientes: Nitratos, Nitritos, Amonio y Fosfatos
- Alcalinidad



Figura 21, Laboratorio instalado en el lugar de muestreo

7.1.2. Parámetros determinados en laboratorio

Los parámetros determinados en las muestras de agua en laboratorio fueron:

- ♦ Aniones mayoritarios (cloruros, sulfatos),
- ♦ Cationes mayoritarios (calcio, magnesio, sodio y potasio),
- ♦ Hidrocarburos totales (solo en las muestras superficiales)
- ♦ Metales pesados (zinc, cadmio, plomo, cobre, hierro y mercurio),

En sedimentos se determinaron metales pesados, relación C/N y PAH's

7.2. Metodología analítica

7.2.1. Aguas

7.2.1.1. Parámetros Físico-químicos

Los parámetros físico-químicos se determinaron “in situ” mediante el empleo de una sonda multiparamétrica Idromar IM71 (Figura 18) para medida en continuo a lo largo de un perfil. La sonda consta de 7 canales para diferentes sensores, en este caso se adaptaron los sensores para las siguientes medidas (Figura 22): profundidad, pH, potencial redox, temperatura, conductividad eléctrica, clorofila A y turbidez. La medida de salinidad la realiza mediante el software del sistema.

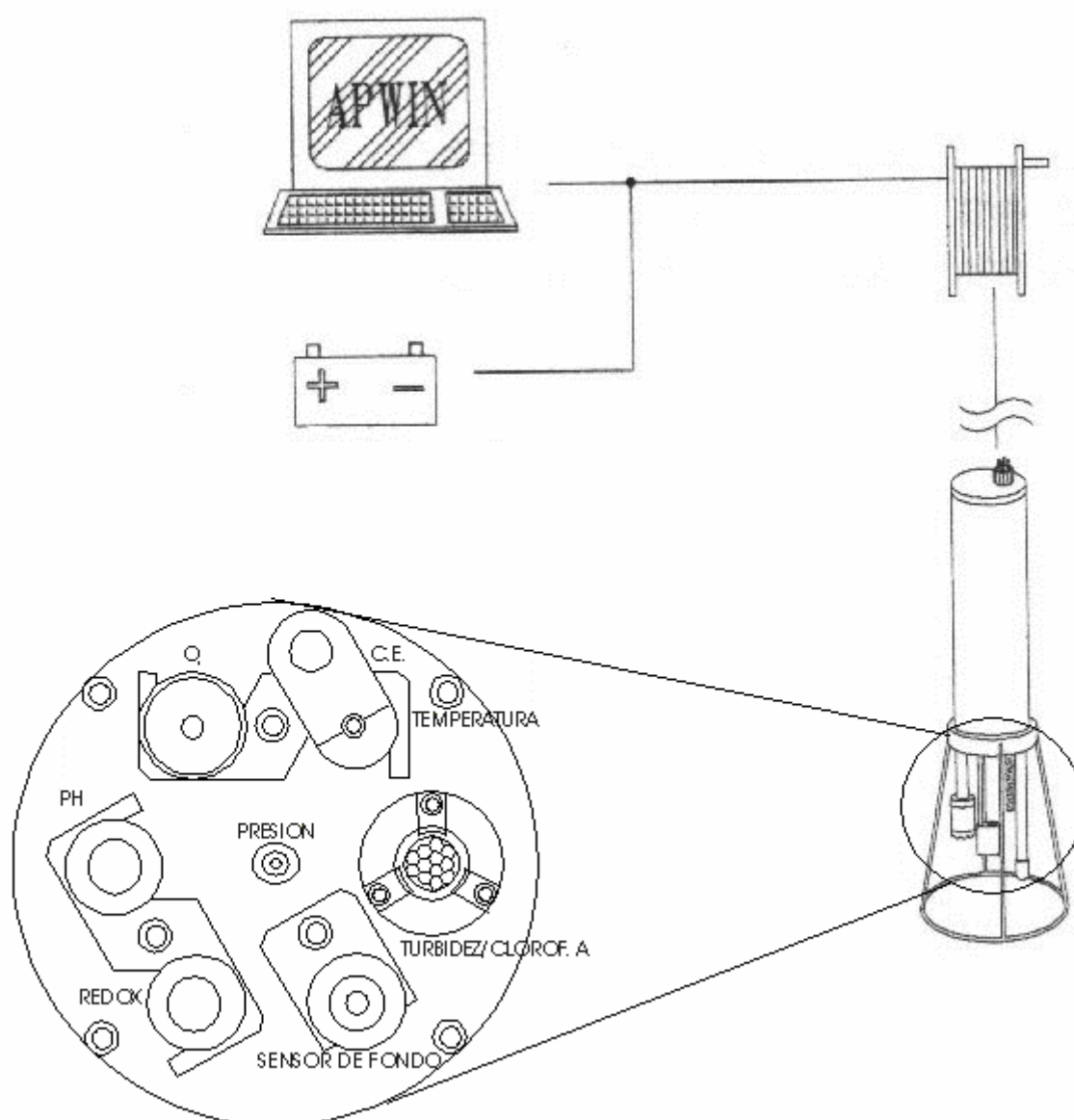


Figura 22. Esquema de la sonda Idromar IM71

La sonda puede almacenar los datos en su memoria interna o bien trabajar conectada a un ordenador. Esta última opción es la que se empleó en esta Tesis ya que permitía seguir la estabilización de los parámetros a determinar en cada punto del perfil, registrándose los correspondientes a las profundidades seleccionadas de muestreo. A estas profundidades se estabilizaba el sistema de izado y se mantenía un registro continuo de un minuto a intervalos de 10 segundos, el dato final recogido en las tablas de datos físico-químicos corresponde a la media de los valores obtenidos en cada registro (Tablas 1 a 4, Anexo II).

El trazado de los perfiles se realizó llevando la sonda a un mínimo de cinco metros sobre la profundidad máxima indicada por la sonda del barco e iniciando las medidas en sentido ascendente, de este modo se estabiliza mejor la medida del potencial redox (Marine Pollution Monitoring Management Group, 1998).

La frecuencia de toma de datos se automatizó para un intervalo de 10 segundos, tiempo necesario para obtener una respuesta estable del electrodo de oxígeno disuelto por ser el sensor que más tarda en estabilizarse.

pH

La determinación del pH debe hacerse “in situ”; es el examen más sensitivo sobre la representatividad de la muestra ya que es normalmente, junto con el oxígeno, el último parámetro en estabilizarse. El principal control sobre el pH en la mayoría de las aguas lo realiza el sistema carbonatado (CO_2 / HCO_3^- / $\text{CO}_3^{=}$). Puede sufrir grandes variaciones con el transcurso del tiempo, debido a diversas causas: aporte o pérdida de CO_2 , reacciones químicas en el seno del agua, etc (Rodier, 1990).

La medida de pH puede ser llevada a cabo de diferentes formas, pero la determinación más sensible es la llevada a cabo con el método electrométrico con electrodo selectivo de vidrio (Eaton et al, 1995). Este electrodo está incorporado en la sonda multiparamétrica (Figura 22) y posee una precisión de $\pm 0,01$ unidades de pH. La frecuencia de adquisición de datos, de fondo a superficie, fue de 1 dato cada 10 segundos.

Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica del agua es una medida de su posibilidad de transportar una corriente eléctrica bajo condiciones específicas y, por tanto, es indicador de la cantidad de sólidos disueltos en el agua (sales ionizadas).

Su determinación en campo ayuda a evaluar si una muestra puede cambiar drásticamente con el tiempo, provocando la variación de presión y temperatura cambios en la conductividad. Un incremento de la temperatura de 1°C provoca un aumento del 2% de la conductividad.

El detector de conductividad con sistema de lectura directa y compensación de temperatura es uno de los detectores incorporados en la sonda multiparamétrica (Figura 22) con una precisión de $\pm 0,005\text{mS/cm}$ (UNE-EN 27888:1993 en AENOR, 1997). La frecuencia de adquisición de datos, de fondo a superficie, fue de 1 dato cada 10 segundos.

Temperatura

La temperatura es una de las constantes físicas con mayor influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua. Es un factor importante para calcular la solubilidad de gases y sales. Por ello, es importante determinarla con una precisión de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ (Artegiani, 1995). La sonda multiparamétrica lleva incorporado un termopar para la medida de temperatura acoplado al detector de conductividad (Figura 22) con una precisión de $\pm 0,005^\circ\text{C}$. La frecuencia de adquisición de datos, de fondo a superficie, fue de 1 dato cada 10 segundos.

Turbidez

La turbidez de un agua está causada por la presencia de materias en suspensión: arcilla, limos, coloides orgánicos, plancton y otros organismos microscópicos. Estas partículas suelen tener desde dimensiones coloidales (10 nm) hasta diámetros del orden de 0,1 nm.

Existen varios métodos para medir la turbidez de un agua (UNE-EN ISO 7027:2001), si bien los turbidímetros y nefelómetros son los más empleados. La sonda multiparamétrica incorpora un turbidímetro (Figura 22) calibrado usando estándares de turbidez de formazina y la lectura se expresa en términos de unidades de turbidez de formazina (FTU), siendo la precisión del detector de $\pm 0,05\text{FTU}$. La frecuencia de adquisición de datos, de fondo a superficie, fue de 1 dato cada 10 segundos.

Oxígeno disuelto

Los valores de este parámetro al entrar la muestra en contacto con la atmósfera sufren fuertes desviaciones por lo cual es imprescindible su determinación “in situ”. Esto es de especial aplicación a las muestras profundas.

La medida de oxígeno disuelto se realiza mediante un electrodo polarográfico tipo Clark con cátodo de oro y ánodo de plata (UNE-EN 25814:1992 en AENOR, 1997), acoplado a la sonda multiparamétrica (Figura 22). El electrodo se debe calibrar al aire cada dos horas de funcionamiento. Su precisión es de $\pm 1\%$ saturación y está limitado por un tiempo de respuesta de 10 segundos, por ello se adaptó el periodo de toma de datos de la sonda a este tiempo. La frecuencia de adquisición de datos, de fondo a superficie, fue de 1 dato cada 10 segundos.

Redox

Las condiciones redox de las muestras se ven alteradas una vez en contacto con la atmósfera, por lo que se hace imprescindible su determinación “in situ”. Las condiciones redox de la muestra facilitan información sobre las especies químicas que pueden estar presentes en la misma.

La medida del potencial redox se realizó mediante un electrodo acoplado a la sonda multiparamétrica (Figura 22) con una precisión de 0,01 mV. La frecuencia de adquisición de datos, de fondo a superficie, fue de 1 dato cada 10 segundos.

Salinidad

La salinidad es considerada uno de los más importantes parámetros en oceanografía debido a sus características conservativas. Es uno de los parámetros que permiten la identificación de masas de agua (Artegiani, 1995).

La salinidad es obtenida por el software de la sonda multiparamétrica a partir de los datos de conductividad, temperatura, oxígeno disuelto y presión tomados por la propia sonda. La frecuencia de adquisición de datos, de fondo a superficie, fue de 1 dato cada 10 segundos. La calibración de la sonda para este parámetro se realizó con el estándar de salinidad 35 g/l (Eaton et al, 1995).

Clorofila A

La concentración de clorofila A es indicadora de la presencia de fitoplacton en las aguas, dicha presencia está directamente relacionada con el consumo de oxígeno y con la presencia de nutrientes en función de ciclos diarios y estacionales (Marine Pollution Monitoring Management Group. 1998).

La sonda multiparamétrica incorpora un fluorómetro (Figura 22) para la medida de Clorofila A con filtro de excitación de 450 nm y filtro de emisión PW 700 nm y HW 50 nm, con una precisión de $\pm 0,01\mu\text{g/l}$. La frecuencia de adquisición de datos, de fondo a superficie, fue de 1 dato cada 10 segundos.

7.2.1.2. Nutrientes

Nitratos

Los nitratos son sales muy solubles y por tanto difícilmente precipitables. Aunque tienen tendencia a ser estables, aún en medios muy reductores, el ión NO_3^- puede pasar a N_2 ó NH_4^+ y excepcionalmente a NO_2^- . La mayoría de los compuestos nitrogenados pasan a NO_3^- en medio oxidante, aunque el NH_4^+ puede perderse en parte como N_2 .

Debido a la facilidad de conversión de los derivados nitrogenados en NO_3^- y dado nuestro interés en determinar este parámetro de forma independiente a amonio y nitritos, se optó por su determinación “in situ”. El método consiste en una determinación colorimétrica con un espectrofotómetro UV-V por reducción de Cadmio (UNE-EN 2677:1994 en AENOR, 1997), consistente en la reducción a nitritos de los nitratos presentes con cadmio metálico. El ión nitrito reacciona, en medio ácido, con ácido sulfamílico para formar una sal de diazonio intermedia que se une con ácido gentésico para formar un producto color ámbar detectable mediante espectrofotometría a 500 nm. El rango de medida del espectrofotómetro Hach, modelo DRLL 2000, es de 0-30 mg/l de N-NO_3^- , con una precisión de $\pm 0,8$ mg/l.

Nitritos

Según el origen de las aguas, la cantidad de nitritos es muy variable. Bajo la acción de fenómenos biológicos, el equilibrio entre amonio, nitritos y nitratos, puede variar rápidamente. Así pues, es conveniente proceder a su determinación inmediatamente después de la toma de muestra.

El método consiste en una determinación colorimétrica con un espectrofotómetro UV-V (UNE-EN 2677:1994 en AENOR, 1997), basándose en la formación de un colorante azoico, rojizo, por la reacción del ácido sulfamílico diazotado con el clorhidrato de α -naftilamina. La intensidad del color sigue la ley de Beer-Lambert hasta una concentración de 0,60 mg/l de nitritos a una longitud de onda de 510 nm. El rango de medida del espectrofotómetro es de 0-0,30 mg/l de N-NO_2^- , con una precisión de 0,0011 mg/l.

Amonio

El ión amonio, es uno de los parámetros a determinar “in situ”, por su elevada tendencia a oxidarse pasando en un corto espacio de tiempo a nitrato, NO_3^- .

Existen diversos métodos para la determinación de este parámetro, siendo el utilizado un método colorimétrico mediante espectrofotometría UV-V, basado en el método Nessler (UNE 77028:2002). El reactivo de Nessler (yodomercuriato potásico alcalino) en presencia de iones amonio se descompone formando iones de diyodomercurioamonio, color amarillo, que permiten la determinación colorimétrica de los iones NH_4^+ . El rango de medida del espectrofotómetro es de 0-2,5 mg/l de N-NH_3 , con una precisión de 0,01 mg/l. En agua de mar la medida puede estar afectada por la densidad de la misma, por ello se varía el método empleando como blanco una disolución de cloruro sódico en agua destilada con una concentración de 35 gr/l, salinidad media en las aguas marinas (Eaton et al, 1995).

Para el control de sensibilidad se llevaron a cabo determinaciones mediante patrones externos aditivados al blanco y se realizaron réplicas aleatorias del 45% de las muestras con adición de 1 ppm de patrón, para verificar la reproducibilidad del ensayo.

Fosfatos

El aporte de compuestos fosfatados a las aguas naturales se debe a acciones antrópicas, tales como el uso de detergentes, fertilizantes y vertido de aguas residuales. En agua de mar el compuesto fosfatado mayoritario es el ión ortofosfato (PO_4^{3-}) (Morin, P. 1995).

En general, el análisis se ha de efectuar preferiblemente el mismo día de la toma de muestra. Los mejores resultados se obtienen realizando la determinación en un periodo máximo de dos horas desde el momento de la recogida de muestra.

Se determinan ortofosfatos por espectrofotometría, empleando para ello un espectrofotómetro UV-V. En medio ácido y en presencia de molibdato amónico (UNE-EN 1189:1997 en ISO 6878-1: 1986; AENOR, 1997), los ortofosfatos forman un compuesto fosfomolibdico que, reducido por el ácido ascórbico, desarrolla una coloración azul susceptible de determinación colorimétrica a una longitud de onda de 890 nm (Morin, P. 1995). El rango de medida del espectrofotómetro Hach, modelo DRLL 2000, es de 0-5 mg/l de PO_4^{3-} , con una precisión de 0,01 mg/l.

7.2.1.3. Aniones Mayoritarios

Alcalinidad

La alcalinidad de un agua corresponde a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Estos iones son fundamentales en el medio marino al controlar el pH y regular el paso de CO_2 de la biosfera a la litosfera (Millero, 2005).

Estos aniones deben determinarse en el campo debido al intercambio de CO_2 con la atmósfera tras la toma de la muestra. El método empleado es una volumetría de neutralización con ácido sulfúrico y dos indicadores: fenoftaleína (pH 8,3) para la determinación de carbonatos y bromocresol (pH 4,5) para la determinación de bicarbonatos (UNE-EN ISO 9963-1:1996 en AENOR, 1997). El límite de detección de estas determinaciones depende del volumen de muestra valorada y de la precisión del material utilizado, puede considerarse del orden de 0,5 mg CaCO_3 /l.

Cloruros

El ión cloruro es el ión mayoritario en aguas marinas y es un parámetro directamente relacionado con la salinidad.

Los valores de cloruros se pueden determinar mediante métodos volumétricos o mediante métodos potenciométricos. La volumetría con Nitrato Mercúrico en medio ácido permite desestimar la mayoría de las posibles interferencias que si afectan a otros métodos (Eaton et al, 1995), es un método donde al viraje del indicador (difenilcarbazona) es fácilmente apreciable formándose un quelato color azul-violeta (Rodier, J. 1990). El límite de detección de estas determinaciones depende del volumen de muestra valorada y de la precisión del material utilizado, puede considerarse del orden de 0,5 mg/l de ión cloruro.

Sulfatos

El sulfato es el segundo anión mayoritario en las aguas marinas, para poder establecer las características generales de la masa de agua es necesario conocer sus concentraciones.

La determinación se lleva a cabo mediante espectrofotómetro UV-V marca Hach, modelo DRLL 2000, por precipitación con cloruro de bario y medida del precipitado estabilizado (UNE 77049:2002) a una longitud de onda de 450 nm. El rango de medida del espectrofotómetro es de 0-65 mg/l, con una precisión de $\pm 0,9$ mg/l de sulfatos. Debido a que la concentración de este ión en las muestras alcanza las concentraciones máximas medidas por el aparato, ha sido necesario realizar diluciones, se efectuaron dos réplicas de dilución por muestra para mejorar los resultados.

7.2.1.4. Cationes Mayoritarios

Mediante cromatografía iónica se determinaron: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Se utilizó un equipo Metrohm 761 Compac Ic. Debido a la elevada conductividad de las muestras se utilizaron columnas de separación de 250 mm de longitud con relleno de gel de sílice con grupos carboxilo. Este tipo de columnas permiten una mejor resolución de los cromatogramas en muestras con elevada salinidad. Como eluyente se empleó una mezcla de ácido tartárico y ácido dipicolínico en agua ultrapura.

Para evitar la saturación de las columnas, debido a la elevada concentración de sodio, se realizaron diluciones 1:100 por duplicado en todas las muestras. Se inyectaron 20 µl de muestra, previa filtración con filtros de fibra de vidrio de 45 µm. Se realizó la calibración mediante patrones combinados, desde 0,5 mg/l hasta 50 mg/l. La precisión del método es de ± 1 mg/l.

7.2.1.5. Metales Pesados

Zn, Cd, Pb, Cu y Fe

Se determinaron mediante voltamperometría de redisolución aniónica. El equipo utilizado fue un polarógrafo Metrohm 757 VA Computrace de electrodo de gota de mercurio combinado con un electrodo de referencia de ClK. Previo a la detección polarográfica fue necesario realizar la digestión de la muestra para eliminar la materia orgánica presente. La digestión se realizó mediante la adición de peróxido de hidrógeno y la exposición a radiación ultravioleta a una temperatura de 90°C durante dos horas.

La calibración se realizó mediante la adición de patrones combinados con concentraciones desde 0,5 µg/l para Cd, Cu y Pb, hasta 50 mg/l para Zn y Fe.

Mercurio

Las muestras se cuantificaron en los laboratorios del CIEMAT (Departamento de Medio Ambiente) mediante un equipo de absorción atómica AMA-254. El límite de detección del equipo es de 0,05 ng/l, siendo el límite de determinación del equipo de 0,3 µg/l. La principal ventaja de esta metodología es que no precisa manipulación adicional de las muestras.

7.2.1.6. Hidrocarburos totales

La determinación de hidrocarburos totales se realizó en el laboratorio de cromatografía de gases del Servicio Interdepartamental de Investigación (SIDI) de la Universidad Autónoma de Madrid mediante cromatografía de gases con detector de ionización a la llama (FID) con un equipo Variant.

La finalidad es cuantificar el índice de hidrocarburos totales (UNE-EN ISO 9377:2001), que se define como aquellos hidrocarburos alifáticos de cadena larga o ramificados, alicíclicos, aromáticos o aromáticos sustituidos con una cadena alquílica, presentes en aguas, entre el n-decano y el n-tetracontano.

Las condiciones cromatográficas fueron:

- Columna capilar CP-Sil 5 CB de 30 m de longitud, 0,25 mm de diámetro y 0,25 μm de espesor de fase, CP8741 (100% metilsilicona).
- Tipo de detector: detector de ionización a la llama (FID) a una temperatura de 300°C.

Las muestras de agua se congelaron en un tiempo máximo de 8 horas tras su recogida en recipientes de un litro de capacidad color topacio para su traslado a laboratorio, donde se descongelaron y se realizó una extracción con 50 ml de éter de petróleo, se concentró el extracto hasta un volumen final de 1 ml y se inyectó por triplicado de acuerdo con las condiciones cromatográficas descritas. La precisión del método es aproximadamente de $\pm 0,02$ mg/l.

7.2.2. Sedimentos

Los sedimentos, previamente congelados en recipientes de polietileno con cierre de seguridad, una vez en laboratorio se llevan a sequedad manteniendo la temperatura por debajo de 30°C para evitar la pérdida de mercurio por volatilización. Una vez las muestras secas se procedió a su homogeneización, debido a que la granulometría del sedimento es superior a 0,63 micras, se tamiza la muestra en seco eliminando los tamaños mayores de 2 mm, mayoritariamente caparazones de moluscos, y se homogeneiza la muestra en mortero de ágata.

7.2.2.1. *Metales Pesados*

Las muestras se cuantificaron en los laboratorios del CIEMAT (Departamento de Química) mediante técnica ICP. Los metales determinados fueron: Co, Cr, Cu, Ni, Zn, Li y Zr. El límite de detección del equipo es de 5 mg/kg.

Mercurio

Las muestras se cuantificaron en los laboratorios del CIEMAT (Departamento de Medio Ambiente) mediante un equipo de absorción atómica AMA-254. El límite de detección del equipo es de 0,05 µg/kg, siendo el límite de determinación del equipo de 0,3 mg/kg. La principal ventaja de esta metodología es que no precisa manipulación adicional de las muestras.

7.2.2.2. *Relación C/N*

Se realizó esta determinación en los laboratorios del CIEMAT (Departamento de Química) mediante el empleo de un analizador elemental.

7.2.2.3. PAH's en sedimentos

La determinación de PAH's se realizó en el laboratorio de cromatografía de gases del Servicio Interdepartamental de Investigación (SIDI) de la Universidad Autónoma de Madrid mediante cromatografía de gases con detector de trampa iónica (MS/MS) (Eaton et al. 1995).

La finalidad del método es cuantificar el contenido de hidrocarburos poliaromáticos (PAH's) en las muestras de sedimentos previamente desecadas al aire y trituradas. Los PAH's determinados son: acenaphtileno, acenaphteno, fluoreno, antraceno, fenantreno, pireno, fluoranteno, criseno, dibenzo (a, h) antraceno y benzo (g, h, i) perileno.

Para realizar la extracción se añadieron 25 ml de CH_2Cl_2 al 10% de acetonitrilo a 5 g de sedimento seco y triturado, se somete a ultrasonidos y se filtra. El sólido resultante se lavó con CH_2Cl_2 al 10% de acetonitrilo y se concentró mediante corriente de nitrógeno hasta 1 ml de muestra, se inyectaron 7 μl en el cromatógrafo de gases (GC/MS/MS). La curva de calibrado realizada fue de 10 a 150 $\mu\text{g/kg}$. El límite de detección es por lo tanto, para cada sustancia detectada, de 10 $\mu\text{g/kg}$, siendo la reproducibilidad de un 98 %.

8. ELABORACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos han sido tratados al objeto de evaluar su calidad y representatividad:

8.1. Control de calidad de los análisis

Se realizó mediante el cálculo del error analítico en las determinaciones de iones mayoritarios (Anexo II, Tablas 5 a 8) y el duplicado aleatorio de muestras.

8.1.1. Error Analítico

El error analítico (ξ) se ha determinado mediante la siguiente ecuación (Custodio y Llamas, 1983):

$$\xi = \frac{\Sigma \text{cationes} - \Sigma \text{aniones}}{(\Sigma \text{cationes} + \Sigma \text{aniones})/2} \times 100$$

Donde:

$$\Sigma \text{cationes} = [\text{Ca}^{2+}]_{\text{meq/l}} + [\text{Mg}^{2+}]_{\text{meq/l}} + [\text{Na}^+]_{\text{meq/l}} + [\text{K}^+]_{\text{meq/l}}$$

$$\Sigma \text{aniones} = [\text{Cl}^-]_{\text{meq/l}} + [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{meq/l}} + [\text{CO}_3^{2-}]_{\text{meq/l}} + [\text{HCO}_3^-]_{\text{meq/l}}$$

El error máximo admitido fue de un 15%, este porcentaje es el indicado para muestras con valores de conductividad media elevada (49,7 mS/cm, Tabla 11), (Custodio y Llamas, 1983); toda muestra que superó este valor fue repetida en la determinación de todos sus parámetros a excepción de CO_3^{2-} y HCO_3^- por ser parámetros inestables. Los resultados obtenidos se recogen en el Anexo II, Tablas 5 a 8.

8.1.2. Duplicado de muestras

El duplicado aleatorio de muestras tuvo como objeto verificar la reproducibilidad de los análisis, para ello se realizó la introducción de una muestra de cada cinco por duplicado en cada una de las determinaciones. El duplicado se introducía en una tanda diferente de la muestra original para también comprobar la estabilidad de las condiciones de análisis (patrones, blancos, presión, temperatura).

8.2. Comprobación de los valores de salinidad

Entre salinidad, C.E. y TSD de un agua debe existir una correlación lineal adecuada (Custodio y Llamas, 1983), sin embargo se observó que los resultados de la medición de salinidad mediante la sonda multiparamétrica no presentaban una buena correlación con las medidas de C.E. de la sonda ($R^2 = 0,2133$; Figura 23) y el Total de Sólidos Disueltos (TSD) determinado posteriormente en laboratorio ($R^2 = 0,0195$; Figura 24).

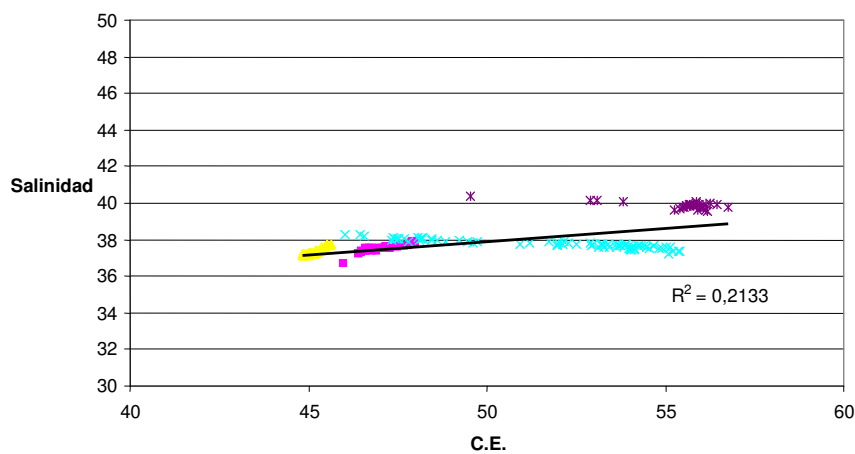


Figura 23. Correlación salinidad (g/l) – C.E. (mS/cm).

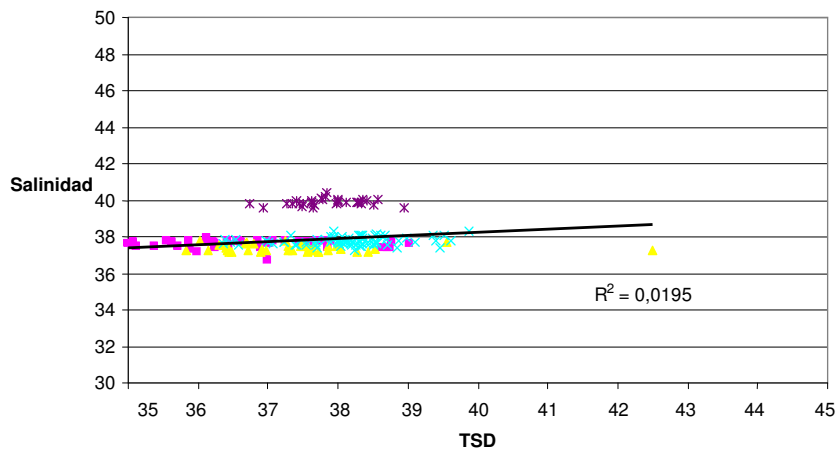


Figura 24. Correlación salinidad (g/l) – TSD (g/l).

La revisión de la bibliografía (Rodier, 1990, Eaton et al, 1995 y Artegiani, 1995) puso de manifiesto que, aunque la metodología de medida empleada era correcta, el patrón empleado para la calibración (35 g/l) no era el adecuado al ser la salinidad media de la zona de estudio superior (37,8 g/l). Además los diferentes tiempos de estabilización de los sensores implicados (C.E. y profundidad con respuesta inmediata y temperatura y oxígeno disuelto con tiempos elevados de estabilización) pudieron generar una desviación importante en el resultado final (Artegiani, 1995). Todo ello unido a las condiciones de mar de fondo presentes en algunos de los muestreos (1º y 4º) que generaban lecturas oscilantes de profundidad, y por lo tanto de presión, dieron lugar a que se desestimase el valor de salinidad obtenido en campo sustituyéndolo por su cálculo empírico (S_T) en base a la medida de cloruros (Rodier, 1990, Eaton et al 1995 y Millero, 2005).

$$S_T \text{ (g/l)} = 0,092 + 1,80186 \text{ Cl}^- \text{ (g/l)}$$

Aplicando la fórmula S_T se obtienen valores promedio de salinidad de 0,33 g/l inferiores a los medidos en campo (Tablas 1 a 4, Anexo II).

La representación de la salinidad calculada o verdadera, S_T , (Millero, 2005) frente al TSD muestra como la correlación mejora ($R^2 = 0,9129$, Figura 25), por lo cual se utilizará la salinidad verdadera en el análisis de los datos.

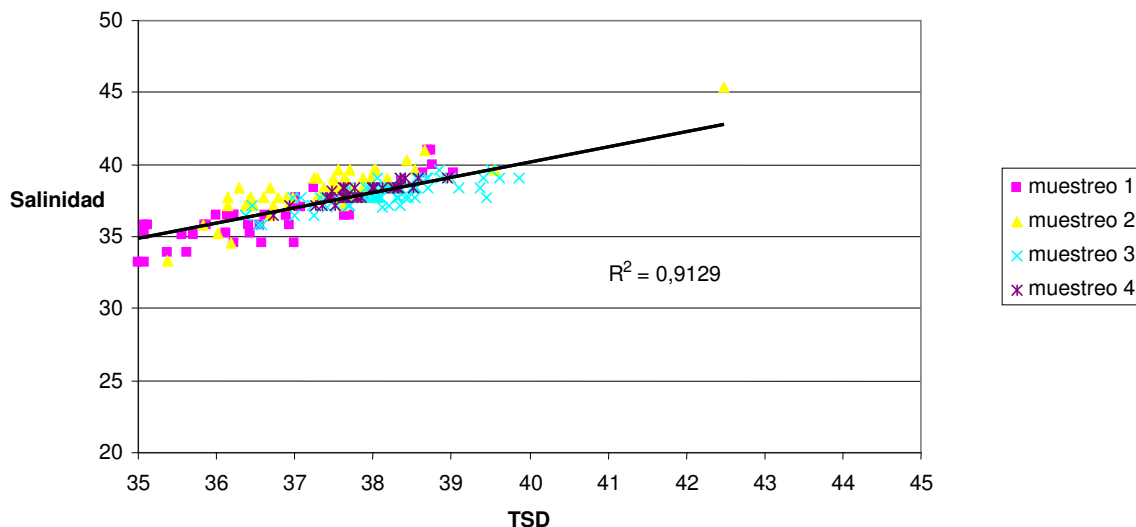


Figura 25. Correlación entre sumatorio de iones (TSD, g/l) y salinidad verdadera (g/l)

La utilización de la salinidad verdadera además permite recuperar aquellos valores donde la sonda no realizó medición alguna y detectar algunas medidas anómalas como error de medida (Tablas 1 a 4, Anexo II).

8.3. Tratamiento Estadístico de Datos.

El análisis estadístico de la información obtenida se ha realizado mediante la utilización del programa SPSS 12.0, utilizado habitualmente para este tipo de estudios (Borja et al, 2003a). Para el tratamiento de la información se han utilizado las siguientes técnicas:

8.3.1. Estadística descriptiva

Dependiendo de los análisis realizados, como estadístico de tendencia central se ha calculado la media aritmética y, como estadísticos de dispersión se han calculado parámetros como la desviación estándar, el valor mínimo y el valor máximo para cada parámetro (Tabla 11).

	Nº de datos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
Temperatura (°C)	216	14,1	24,2	18,2	3,29
C.E. (mS/cm)	213	44,8	56,8	49,7	4,06
Oxígeno (mg/l)	189	3,20	14,2	8,35	1,56
pH	201	8,19	8,46	8,30	0,06
Redox (mV)	175	48,8	221	128	30,0
Turbidez (FTU)	130	0,05	23,0	4,63	4,52
Clorofila A (µg/l)	214	0,01	27,3	3,71	4,56
Salinidad medida (g/l)	213	23,5	40,4	37,8	1,61
Salinidad verdadera (g/l)	229	31,4	45,5	37,5	1,86
Carbonatos (mg/l)	229	0,00	50,4	24,6	9,67
Bicarbonatos (mg/l)	229	56,1	154	101	18,3
Sulfatos (mg/l)	229	2250	3750	3050	179
Cloruros (mg/l)	229	17395	25205	20743	1032
Sodio (mg/l)	229	9498	12840	11163	569
Potasio (mg/l)	229	210	585	409	42,3
Calcio (mg/l)	229	237	575	410	48,7
Magnesio (mg/l)	229	1215	1805	1430	84,7
Mercurio (ug/l)	48	0,11	17,2	1,77	3,16
Cd (ug/l)	213	0,20	16,0	1,84	3,02
Cu (ug/l)	229	4,23	209	30,4	27,5
Fe (mg/l)	225	0,00	0,67	0,07	0,09
Pb (ug/l)	227	0,50	106	4,48	9,64
Zn (mg/l)	166	0,00	0,56	0,08	0,11
Amonio (mg/l)	228	0,32	6,20	0,93	0,45
Nitritos (mg/l)	228	0,00	0,96	0,02	0,06
Nitratos (mg/l)	228	0,00	15,0	4,41	1,85
Fosfatos (mg/l)	228	0,00	2,17	0,07	0,17
HCT (mg/l)	61	0,01	0,56	0,13	0,10

Tabla 11. Valores estadísticos descriptivos

Se observa como para los metales pesados, nitritos, fosfatos, clorofila y turbidez (Tabla 11) los valores de desviación estándar son elevados, mayor que el percentil 25% de la media, lo cual pone de manifiesto una elevada variabilidad en estos parámetros.

Para la descripción de la distribución de los diferentes parámetros determinados se ha calculado el coeficiente de curtosis y el de asimetría (Tabla 12). El coeficiente de curtosis es una medida del grado en que la distribución de frecuencias está distribuida comparándola con una distribución normal. Curtosis negativa indica un mayor número de casos en los extremos del diagrama de frecuencias que una distribución normal con igual varianza (Tabla 12, Figura 26). El coeficiente de asimetría mide el sesgo que presenta una distribución, asimetría positiva indica que la distribución, para valores altos, es más alargada, que la distribución correspondiente a valores bajos.

	Nº de datos	Curtosis	Asimetría
Temperatura (°C)	216	-1,51	0,37
C.E. (mS/cm)	213	-1,50	0,35
Oxígeno (mg/l)	189	1,74	0,63
pH	201	0,69	1,17
Redox (mV)	175	0,61	-0,03
Turbidez (FTU)	130	1,71	1,52
Clorofila A (ug/l)	214	4,44	1,88
Salinidad medida (g/l)	213	53,9	-6,04
Salinidad verdadera (g/l)	229	2,25	-0,70
Carbonatos (mg/l)	229	-0,09	0,17
Bicarbonatos (mg/l)	229	-0,20	0,01
Sulfatos (mg/l)	229	2,47	-0,82
Cloruros (mg/l)	229	0,32	-0,70
Sodio (mg/l)	229	0,03	-0,35
Potasio (mg/l)	229	3,51	-0,61
Calcio (mg/l)	229	0,84	-0,33
Magnesio (mg/l)	229	1,77	0,63
Mercurio (ug/l)	48	13,7	3,51
Cd (ug/l)	213	8,98	3,03
Cu (ug/l)	229	11,2	2,94
Fe (mg/l)	225	12,6	2,95
Pb (ug/l)	227	90,0	9,10
Zn (mg/l)	166	4,78	2,24
Amonio (mg/l)	228	84,9	7,69
Nitritos (mg/l)	228	204	13,9
Nitratos (mg/l)	228	4,32	0,75
Fosfatos (mg/l)	228	98,7	8,79
HCT (mg/l)	61	8,27	2,41

Tabla 12. Coeficientes de Curtosis y Asimetría

Existen cuatro parámetros analizados con curtosis negativa (Tabla 12), temperatura, C.E., carbonatos y bicarbonatos, estos parámetros presentan mayor número de casos en los laterales de sus distribuciones de frecuencia (Figura 27). Se podrían distinguir en estos parámetros dos grupos de muestras, aquellas con valores inferiores a la media y aquellas con valores superiores a la media.

El índice de asimetría negativo (Tabla 12) indica que potencial Redox, salinidad medida, salinidad verdadera, sulfatos, cloruros, sodio, potasio y calcio tienen un mayor número de valores inferiores a la media (Figura 26).

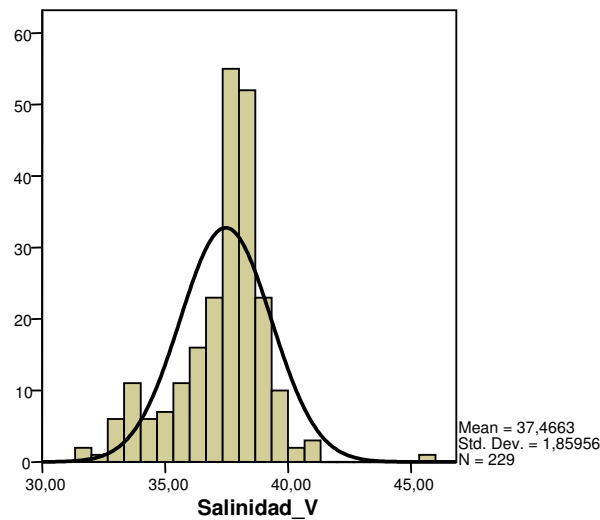


Figura 26.- Distribución de frecuencias para salinidad verdadera (S_T), asimetría negativa

8.3.2. Histograma de frecuencias

Con el histograma de frecuencias se representa la curva de Gauss teórica correspondiente a cada distribución (Figura 27). El cálculo se basa en las correspondientes medias y desviaciones estándar, permitiendo estudiar de forma gráfica el grado de ajuste de las distribuciones a una normal.

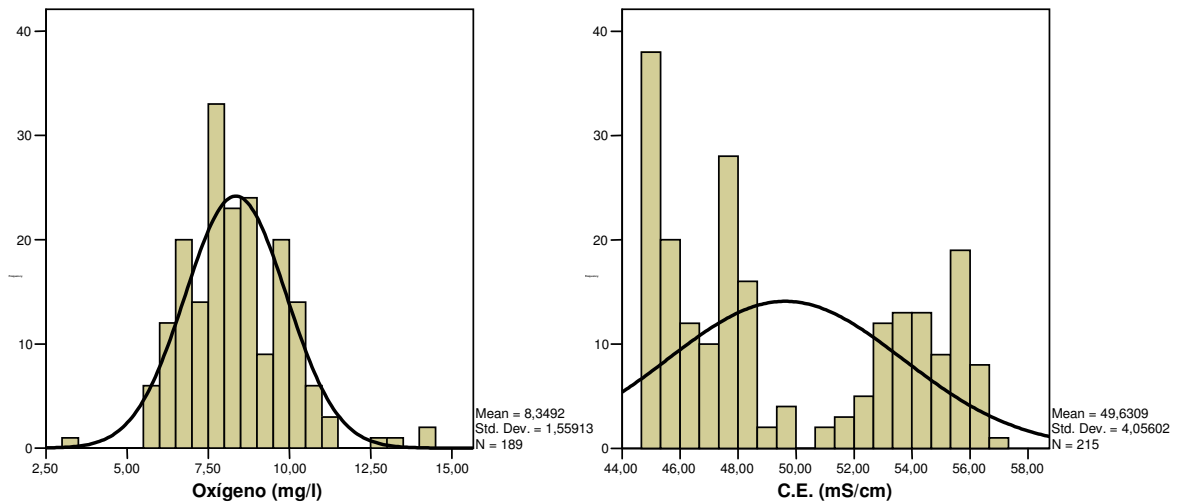


Figura 27.- Distribución de frecuencias para oxígeno disuelto (Curtosis positiva) y C.E. (Curtosis negativa), (Tabla 12).

El gráfico de distribución de frecuencias correspondiente a cada parámetro analizado se representará junto con la descripción de los resultados de dicha variable (apartado 8.4).

8.3.3. Estadística multivariante

Las técnicas de análisis multivariable se utilizan para la determinación de grupos similares de “casos” o de “variables” que, como resultado de dicho análisis, forman una serie de grupos con características homogéneas. El análisis multivariante permite una clasificación en grupos según las semejanzas existentes entre los integrantes de cada grupo, utilizando un criterio predeterminado de proximidad estadística.

Con la información obtenida en los diferentes muestreos se realizan dos tipos de análisis multivariantes con dos objetivos diferentes:

- Análisis de Componentes Principales (ACP): selección de los parámetros analíticos determinantes en la zona de estudio.
- Análisis de Conglomerados: definición masas de agua de diferentes características en la zona de estudio.

8.3.3.1 Análisis de Componentes Principales (ACP)

La finalidad es reducir la dimensionalidad del estudio para a partir de un número considerable de parámetros combinarlos en un número reducido de variables ficticias que representen los anteriores y faciliten la interpretación de la información. El resultado del análisis puede representarse en ejes ortogonales que facilitan la interpretación de los resultados.

Esta técnica calcula ciertas combinaciones lineales de los parámetros originales, de manera que la interpretación física de los procesos a estudio se puede realizar según un número reducido de combinaciones, también llamadas componentes.

De los factores calculados con este método se obtienen aquellos que reflejan un mayor porcentaje de la variabilidad total existente entre las variables originales. En esta selección de factores se ha seguido el criterio más extendido de que los factores seleccionados deben explicar en conjunto más de un 70% de la varianza total (Pérez, C., 2004). Es decir, al reducir la dimensionalidad a un pequeño número de factores no se debe perder más del 30% de la información original.

Previamente a la aplicación del ACP se calculan una serie de aspectos como es el índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) como medida de adecuación para el análisis de los datos seleccionados. Valores de KMO por debajo de 0,50 no son aceptables, considerándose inadecuados los datos para un modelo de análisis factorial (Tabla 13). Para valores superiores a 0,5 se considera aceptable la adecuación de los datos a un modelo de análisis factorial. Cuanto más cerca estén los valores de KMO de la unidad, mejor es la adecuación de los datos a un modelo de análisis factorial, considerándose excelente valores próximos a 0,9 (Pérez, C. 2004) (Tabla 13).

$1 \geq \text{KMO} > 0.9$	Muy Bueno
$0.9 \geq \text{KMO} > 0.8$	Bueno
$0.8 \geq \text{KMO} > 0.7$	Medio
$0.7 \geq \text{KMO} > 0.6$	Aceptable
$0.6 \geq \text{KMO} > 0.5$	Bajo
$\text{KMO} \leq 0.5$	Inaceptable

Tabla 13. Baremo de interpretación del índice KMO (Borja, A. et al, 2003a).

El análisis factorial se ha realizado para los dos muestreos más representativos por tener un mayor número de muestras (72 muestras en el 2º muestreo y 77 muestras en el 3º muestreo), así como unas condiciones del mar más estables (Tabla 10, apartado 7.1). Se eliminan del análisis las tres muestras correspondientes a 40 m en el 3º muestreo, realizándose entonces el análisis de componentes principales sobre 146 muestras, el 64% de las muestras totales.

Mediante el análisis factorial tratamos de reducir el número de parámetros a estudiar identificando un número reducido de variables ficticias, que expliquen la mayoría de la varianza observada, creadas a partir de los originales. Para su realización se inició el análisis eliminando del mismo aquellos parámetros de los cuales no se posee información para todos los muestreos o profundidades por diferentes razones (turbidez, mercurio y HTC) e incluyendo la profundidad.

Tras realizar el primer análisis factorial se obtuvo un KMO bajo 0,56 (Tabla 12), el número de factores resultantes fue de ocho, muy elevado, y la varianza explicada por los factores de un 73% (Tabla 14).

Para mejorar los resultados se emplea la puntuación obtenida por cada parámetro en cada uno de los factores, eliminando aquellas con puntuaciones próximas a cero (-0,5 a +0,5) en todos los factores ya que se consideran factores pertenecientes a un determinado factor aquellas que obtienen puntuaciones próximas a ± 1 . El primer parámetro eliminado es la Clorofila A (Tabla 14).

Parámetros	Componentes							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Temperatura	.707	.558	.104	.091	-.109	-.073	-.149	-.025
C.E.	.727	.531	.111	.106	-.107	-.092	-.160	-.025
Oxígeno	-.165	-.780	.130	.040	.164	-.186	-.032	-.010
pH	.607	.163	.088	-.199	.446	-.060	.326	-.037
Redox	-.031	.072	.184	.102	-.269	.797	.060	-.014
Clorofila A	-.337	-.205	-.095	-.360	.237	.400	.336	.132
Carbonatos	.757	.072	-.034	.085	-.038	-.070	.011	-.088
Bicarbonatos	-.781	-.002	-.165	-.194	.088	.070	.086	.056
Sulfatos	.121	.029	.005	-.044	.199	.055	-.809	-.008
Cloruros	.140	-.008	.972	.025	.031	.013	.027	-.008
Sodio	.632	.401	.149	.178	.065	.028	.144	.156
Potasio	-.159	-.031	-.060	-.096	.032	-.052	.140	.768
Calcio	-.241	.158	.320	.658	-.096	.083	-.143	.253
Magnesio	.037	.066	.113	.299	-.203	-.076	.042	.774
Cd	.113	.089	.071	.125	.140	.349	.733	.063
Cu	.402	-.046	-.145	.797	-.106	.002	.073	-.023
Fe	-.068	.064	.063	-.052	-.134	-.383	.236	-.550
Pb	.212	.216	.009	.744	.028	.091	.191	.061
Zn	-.412	-.078	-.190	.028	.010	.627	.192	-.013
Amonio	.031	-.193	.070	-.017	.805	.068	-.076	-.106
Nitritos	-.220	-.004	-.023	-.086	.776	-.333	-.036	.072
Nitratos	.396	.543	.094	.071	-.247	-.042	-.031	-.101
Fosfatos	.090	.744	.013	.219	.090	-.136	.064	.023
Salinidad Verdadera	.140	-.008	.972	.025	.031	.013	.027	-.007

Tabla 14.- Distribución de parámetros en los factores obtenidos en función de su puntuación

Se repite el proceso eliminando pH, magnesio, hierro y potasio, carbonatos, fosfatos, sulfatos, cadmio y nitratos hasta alcanzar una distribución de parámetros en cinco factores (Tabla 15) con un KMO aceptable de 0.67 (Tabla 13) y un 77% de la información explicada. A partir de este punto el KMO desciende.

	1	2	3	4	5
Temperatura	0,89	0,15	0,18	-0,11	-0,17
C.E.	0,89	0,15	0,19	-0,10	-0,19
Bicarbonatos	-0,66	-0,20	-0,34	0,05	0,28
Sodio	0,85	-0,01	0,05	0,11	0,06
Oxígeno	-0,59	0,04	-0,18	0,43	-0,08
Cloruros	0,13	0,98	0,02	0,03	0,02
Salinidad Verdadera	0,13	0,98	0,02	0,03	0,02
Cu	0,19	-0,08	0,89	-0,12	0,01
Pb	0,17	0,10	0,90	-0,02	0,05
Amonio	-0,09	0,08	0,04	0,86	0,07
Nitritos	-0,11	-0,04	-0,17	0,79	-0,24
Zn	-0,27	-0,20	-0,01	0,05	0,81
Redox	0,10	0,28	0,07	-0,24	0,79

Tabla 15.- Distribución de parámetros en los diferentes factores y puntuaciones

Los cinco factores determinados permiten establecer la importancia de los parámetros analizados en cada muestra, así se puede establecer que los factores 1 y 2 están integrados por los parámetros relacionados con la hidrodinámica del sistema, los factores 3 y 5 corresponden a metales pesados y por lo tanto a muestras afectadas por posibles vertidos industriales, el factor 4 está integrado por amonio y nitritos, sustancias características de posibles vertidos urbanos.

Se obtiene así un primer objetivo, determinar cuales son los parámetros analíticos que definen el sistema y que deben ser determinados en la red de control de la Zona de Servicio Portuario.

Tras el análisis de componentes principales se obtiene la matriz de los coeficientes (Tabla 16), que permite incluir nuevas muestras en el análisis como se comentará en el apartado 9.1.

Parámetros	Componentes				
	1	2	3	4	5
Temperatura	.295	-.032	-.021	.025	.021
C.E.	.293	-.029	-.021	.027	.008
Oxígeno	-.213	.142	.126	.163	-.113
Redox	.141	.017	-.078	-.024	.658
Bicarbonatos	-.214	-.011	.000	-.031	.082
Cloruros	-.049	.489	.016	-.026	-.034
Sodio	.306	-.016	-.097	.145	.224
Cu	-.083	-.004	.554	-.023	-.031
Pb	-.090	.037	.576	.040	.003
Zn	-.001	-.082	.071	.129	.563
Amonio	.085	-.024	.009	.579	.154
Nitritos	.044	-.050	-.014	.537	-.029
Salinidad Verdadera	-.049	.489	.016	-.026	-.034

Tabla 16. Matriz de los coeficientes

8.3.3.2. Análisis de Conglomerados

A partir de las características de las muestras las clasificaremos en grupos de cierta homogeneidad. Como medida de proximidad entre muestras se ha utilizado el coeficiente de correlación de Pearson, así se considera que existe proximidad estadística entre dos muestras cuando presentan una buena correlación lineal, en valor absoluto. Como criterio de agrupación entre muestras se ha utilizado la vinculación promedio entre grupos, que es lo usual en este tipo de estudios (Borja, A. et al, 2003a).

Mediante el análisis de conglomerados se intenta agrupar las muestras a partir de los valores de los parámetros analizados e incluidos en los cinco factores seleccionados (Tabla 15). Para ello se emplea el método de conglomerados en dos fases.

El análisis de conglomerados en dos fases permite un tratamiento de parámetros independientes a los que se les aplica una distribución normal multinomial, realiza una selección automática del número de conglomerados y permite una gran escalabilidad de los datos ya que resume los registros (Pérez, C. 2004).

Al realizar el análisis de conglomerados a partir de los factores obtenidos en el ACP (Tabla 15) las muestras se agrupan en seis conglomerados, siguiendo el criterio bayesiano de Schwarz seleccionando el número de conglomerados con mayor razón de medidas de distancia (c, Tabla 17) (Pérez, C. 2004).

Nº de Conglomerados	Criterio bayesiano de Schwarz (BIC)	Cambio en BIC(a)	Razón de cambios en BIC (b)	Razón de medidas de distancia (c)
1	503.800			
2	442.603	-61.198	1.000	1.744
3	428.347	-14.256	.233	1.399
4	432.079	3.732	-.061	1.075
5	438.965	6.886	-.113	1.645
6	462.299	23.334	-.381	1.945
7	498.017	35.718	-.584	1.079
8	534.691	36.674	-.599	1.022
9	571.628	36.937	-.604	1.058
10	609.215	37.587	-.614	1.151
11	648.279	39.064	-.638	1.245
12	689.266	40.987	-.670	1.399
13	732.490	43.224	-.706	1.006
14	775.749	43.259	-.707	1.124
15	819.622	43.872	-.717	1.250

Tabla 17.- Análisis de conglomerados

		Nº de muestras	% de Combinación
Conglomerados	1	42	29
	2	18	12
	3	16	11
	4	41	28
	5	11	8
	6	4	3
Combinación		132	91
Casos Excluidos		15	9
Total		147	100

Tabla 18.- Distribución de conglomerados

Se observan 6 conglomerados que mediante el porcentaje de combinación reflejan la importancia relativa de las muestras en cada conglomerado (Tabla 18), de este análisis se obtiene un 91% de las muestras analizadas formando parte de los conglomerados definidos.

Las muestras se agrupan en los conglomerados de la siguiente forma (Tabla 19):

Conglomerado	Muestreo	Zona	Profundidad de las muestras
1	2º	Zona Exterior	1 - 5 m
		Escombreras	
		Zona Exterior	10 – 20 m
		Escombreras	
		Interior Cartagena	
	3º	Puntos 9 y 10	20 m
2	3º	Zona Exterior	1 m
		Cartagena	5 – 20 m
3	2º	Cartagena	1 – 5 m
		Exterior de Escombreras	
		Exterior de Escombreras	10 - 20 m
4	3º	Cartagena	1 m
		Escombreras	
		Entorno de la Algameca	
		Zona Exterior	5 – 20 m
5	2º	Exterior de Cartagena	10 – 20 m
		Zona de la Algameca	
6	2º	Punto 6	5 m
		Punto 7	10 m
		Punto 19	1 y 20 m

Tabla 19. Agrupación de las muestras en los conglomerados

Así se observa como el 2º muestreo tiene una agrupación de muestras en conglomerados diferente entre 1 y 5 m que entre 10 y 20 m (Figura 28), mientras que en el 3º muestreo se da una agrupación diferente entre superficie y 5 a 20 m de profundidad (Figura 29).

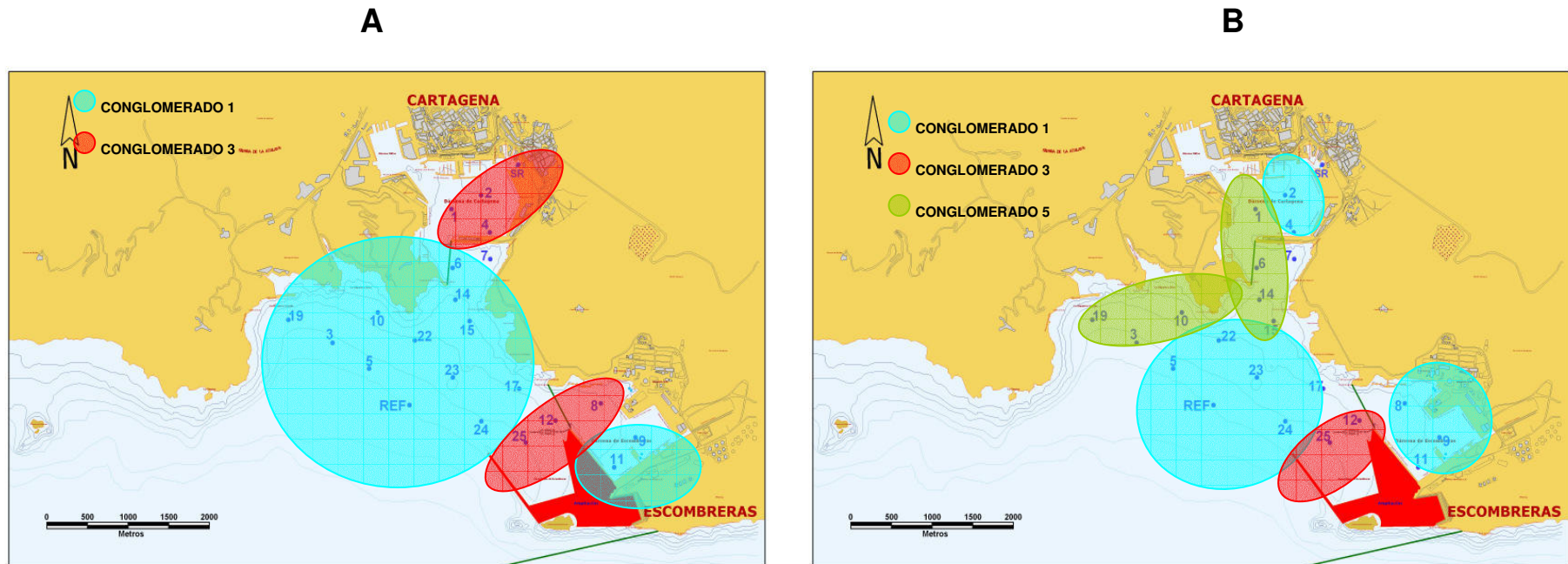


Figura 28. Agrupación de las muestras en conglomerados 1, 3 y 5 en el 2º muestreo. (A) entre superficie y 5 m de profundidad. (B) entre 10 y 20 m de profundidad

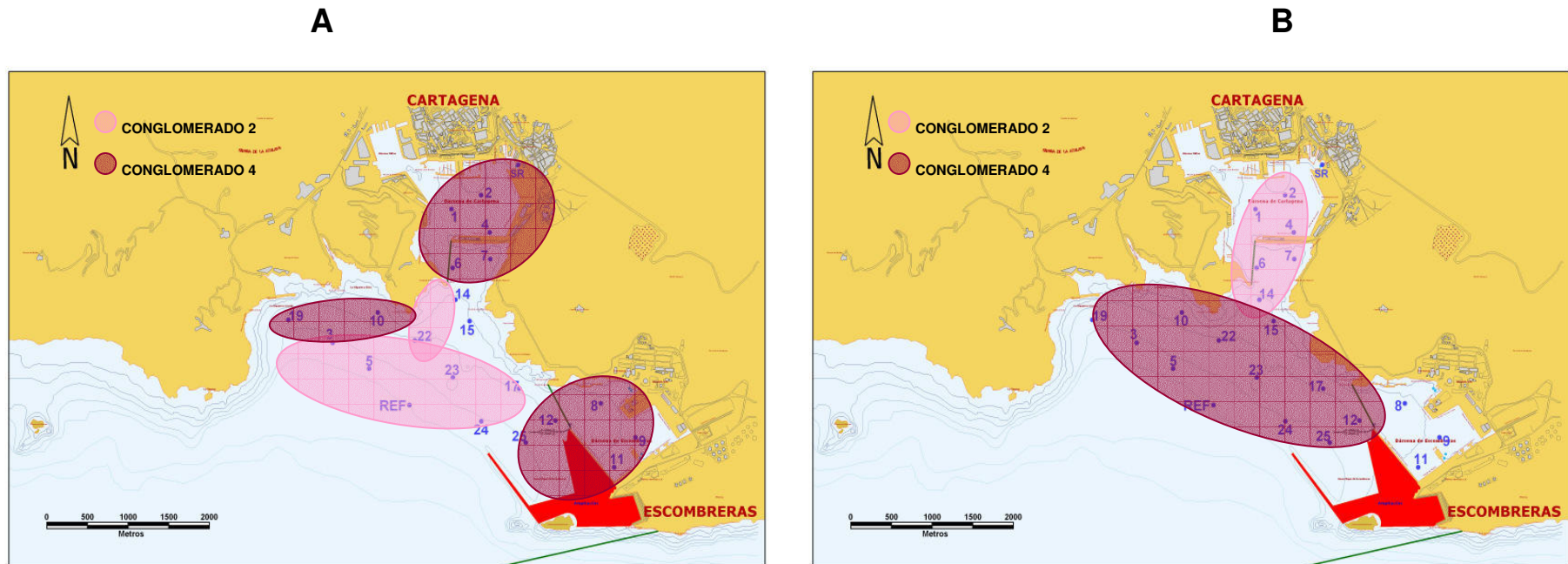


Figura 29. Agrupación de las muestras en los conglomerados 2 y 4 en el 3º muestreo. (A) en superficie. (B) entre 5 y 20 m de profundidad

En el conglomerado 1 son los factores 1, 2, 3 y 4 (Tabla 15) los más significativos (Figura 30). Es decir, los parámetros físico-químicos (Factores 1 y 2), cobre y plomo (Factor 3) y amonio y nitritos (Factor 4).

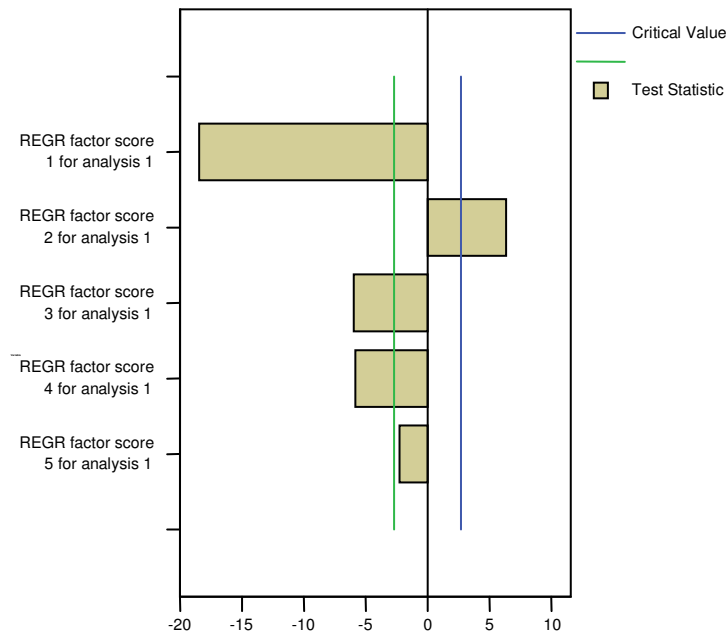


Figura 30. Distribución de factores en el conglomerado 1

En el conglomerado 2 son los Factores 3 y el 1 (Tabla 15) los más significativos (Figura 31), Factor 3 que agrupa cobre y plomo y Factor 1 compuesto por temperatura, C.E., oxígeno disuelto, bicarbonatos y sodio.

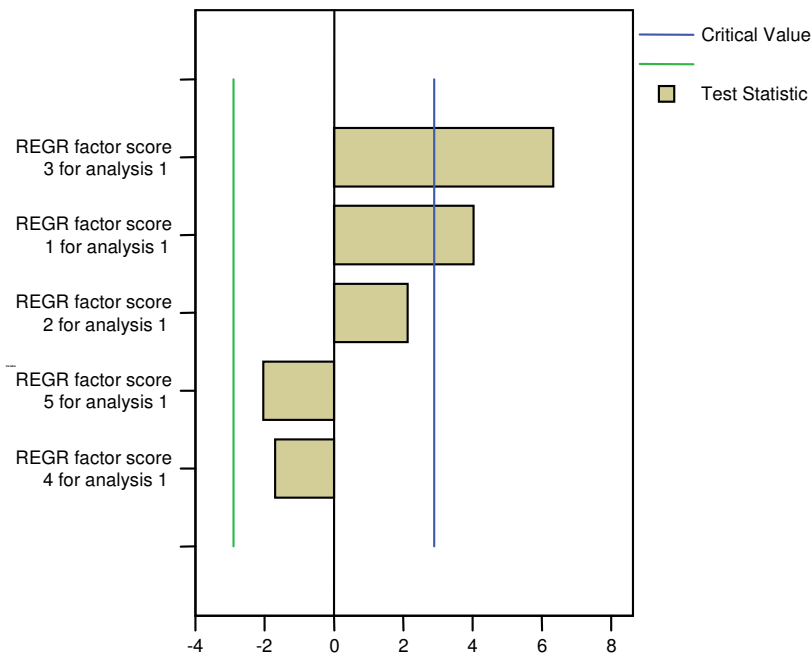


Figura 31. Distribución de factores en el conglomerado 2

En el conglomerado 3 son el Factor 5 compuesto por zinc y potencial redox, y el 1 compuesto por temperatura, C.E., oxígeno disuelto, bicarbonatos y sodio (Tabla 15), los más significativos (Figura 32).

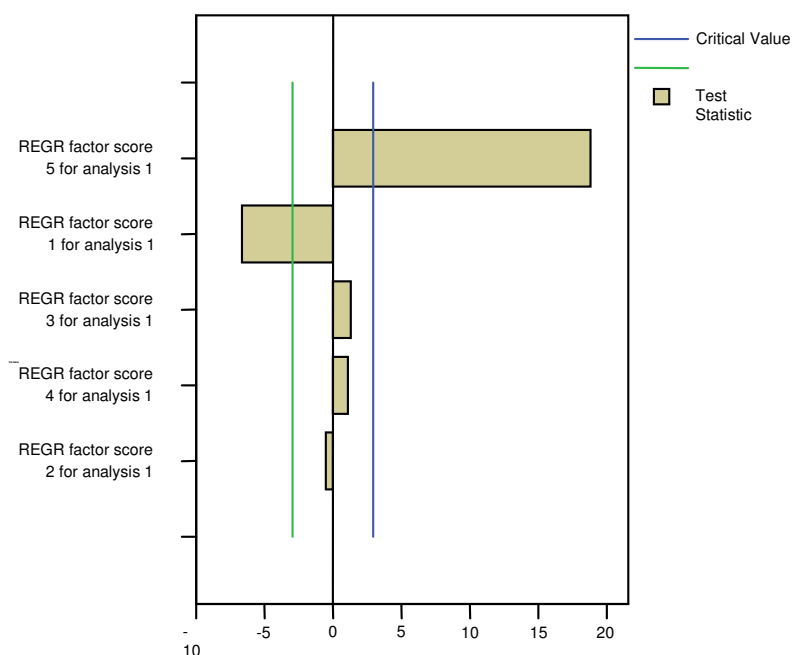


Figura 32. Distribución de factores en el conglomerado 3

En el conglomerado 4 son el Factor 1, temperatura, C.E., oxígeno disuelto, bicarbonatos y sodio, y el Factor 3, cobre y plomo (Tabla 15), los más significativos (Figura 33).

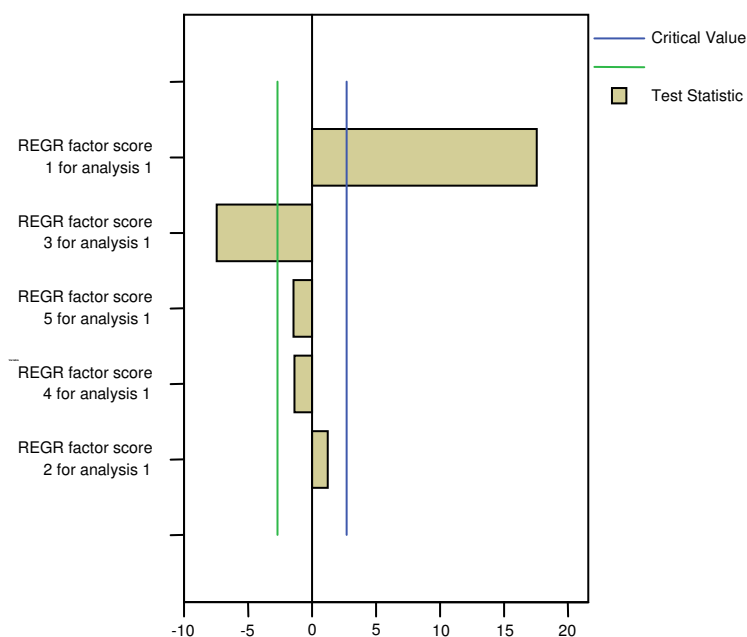


Figura 33. Distribución de factores en el conglomerado 4

En el conglomerado 5 son el Factor 2, cloruros y salinidad, el Factor 1, temperatura, C.E., oxígeno disuelto, bicarbonatos y sodio, y el Factor 3, cobre y plomo, los más significativos (Figura 34, Tabla 15).

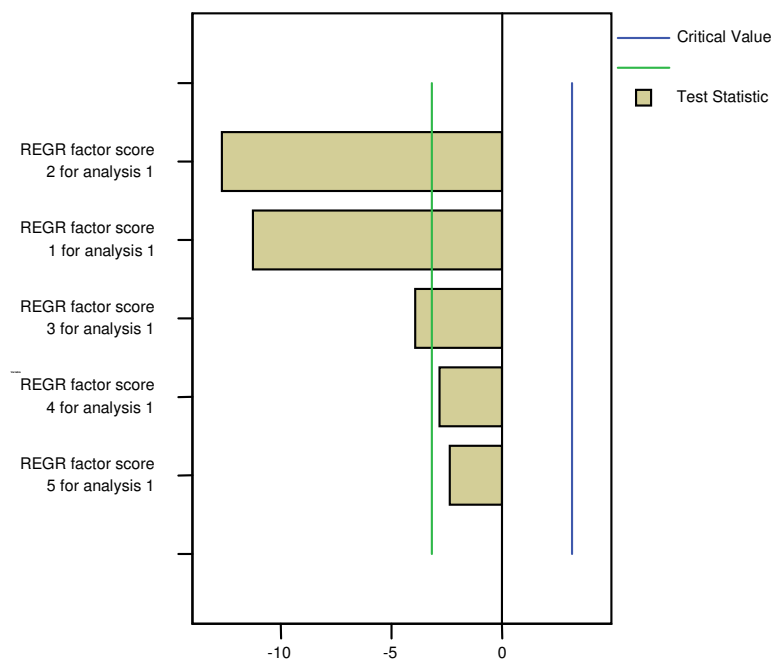


Figura 34. Distribución de factores en el conglomerado 5

En el conglomerado 6 no hay ningún factor con mayor importancia que otro ni con peso definitorio (Figura 35), esto unido al escaso número de muestras en él representadas (puntos 6, 7 y 19) hace que se desestime este Factor en el estudio.

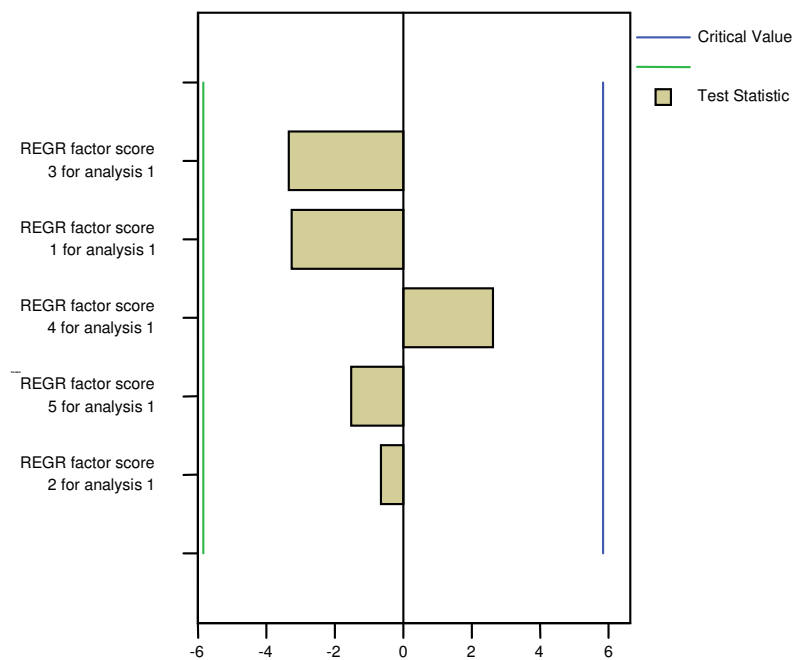


Figura 35. Distribución de factores en el conglomerado 6

Cruzando la información aportada por la distribución espacial de los conglomerados (Figuras 28 y 29) y la relevancia de los factores en cada uno de ellos (Figuras 30 a 35) se obtienen 4 masas de agua diferenciadas por los parámetros analíticos que controlan su comportamiento (Tabla 20, Figura 36):

- Masa 1: dársena de Cartagena (puntos SR, 1, 2 y 4).
- Masa 2: zona exterior (puntos REF, 3, 5, 17, 22, 23 y 24).
- Masa 3: dársena de Escombreras (puntos 8, 9, 11, 12 y 25). Los puntos 8, 12 y 25 corresponde a la zona en la cual se estaban desarrollando labores de dragado debido a las obras de ampliación de la dársena de Escombreras, por ello en la distribución de conglomerados del 2º muestreo aparecen como una agrupación diferente del resto de la dársena (Figura 28).
- Masa 4: zona de transición (puntos 6, 7, 10, 14, 15 y 19). Estos puntos tienen un comportamiento diferente en función de la profundidad y época de muestreo, perteneciendo en ocasiones a la masa 2 y en ocasiones comportándose como una masa independiente, con lo cual podemos definir una zona de transición.

Parámetros	Masa de agua			
	1	2	3	4
Temperatura				
C.E.				
Bicarbonatos				
Sodio				
Oxígeno				
Cloruros				
Salinidad Verdadera				
Cu				
Pb				
Amonio				
Nitritos				
Zn				
Redox				

Tabla 20. Influencia de los parámetro analíticos resultantes del ACP en las masas de agua definidas

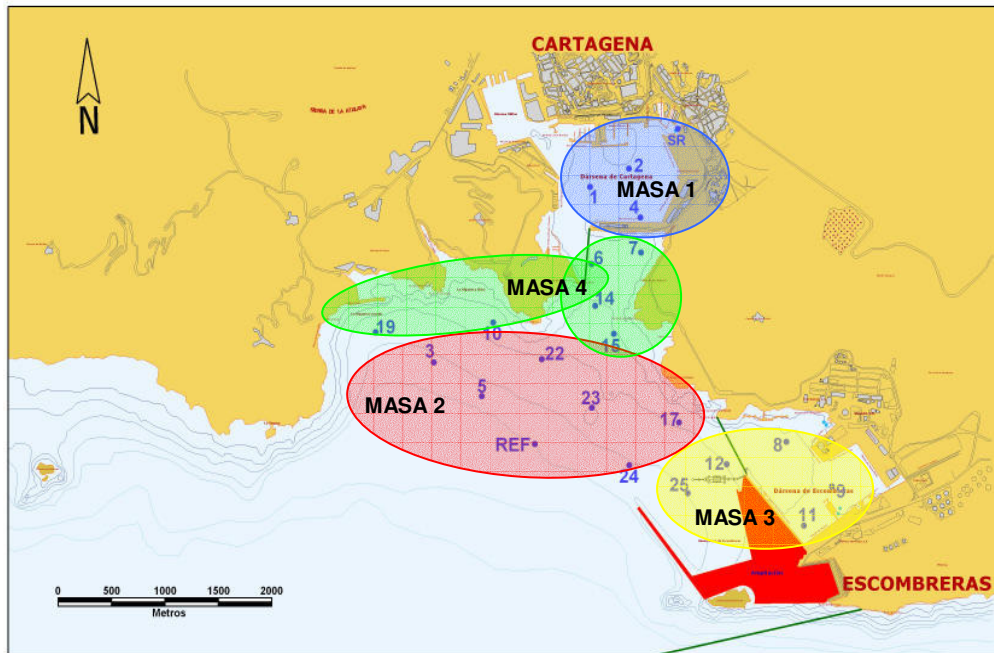


Figura 36. Masas de agua definidas

Se obtiene por una parte los parámetros analíticos a tener en cuenta en una posible red de control sistemático de la calidad de las aguas en la zona portuaria (Tabla 15) y por otra parte una división en diferentes masas de agua con preeminencia de unos u otros parámetros (Tabla 20).

El comportamiento temporal aparece también caracterizado, se observa como el Factor 2 (salinidad, cloruros) únicamente tiene relevancia en los conglomerados que afectan al 2º muestreo, sin aparecer en aquellos que afectan al 3º muestreo, es decir cuando se ha formado la termoclina.

Se alcanza así otro de los objetivos, la tipificación de las masas de agua, extremo recogido en el documento ROM 5.1.-05 (Puertos del Estado, 2005) pero con una metodología basada en la caracterización del medio, extremo que no se recoge en el citado documento, ya que la tipificación de las masas de agua en la Zona de Servicio Portuario se basa en la pertenencia de estas a zonas limitadas por las infraestructuras portuarias o no.

Siguiendo las recomendaciones del documento ROM 5.1.-05 (Puertos del Estado, 2005) obtendríamos la división de la Zona Marítimo Portuaria en tres masas de agua:

- Dársena de Cartagena
- Dársena de Escombreras
- Zona Exterior

Mediante el ACP y el análisis de conglomerados obtenemos cuatro masas de agua (Figura 36):

- Dársena de Cartagena (Masa 1)
- Dársena de Escombreras (Masa 3)
- Zona Exterior (Masa 2)
- Zona de Transición (Masa 4)

8.4. Resultados Analíticos

8.4.1. Aguas

8.4.1.1. *Parámetros Físico-Químicos*

La salinidad y la temperatura son las variables que mejor definen una masa de agua en los sistemas marinos aportando información tanto sobre las comunidades biológicas como sobre los principales procesos hidrográficos: mezcla, estratificación, etc. (Chapman y Wang, 2001). Estas dos variables asociadas al pH y oxígeno disuelto se emplean como parámetros típicos que describen las condiciones hidrográficas básicas de una masa de agua (Borja et al, 2003b).

En este apartado se expondrán los resultados obtenidos de las determinaciones “in situ” de pH, Temperatura, C.E., Salinidad, Turbidez, Potencial Redox, Clorofila A y Oxígeno Disuelto. Todos ellos parámetros determinados “in situ”, mediante la sonda multiparamétrica, a distintas profundidades con la toma de datos programada a intervalos de 10 segundos de cada uno de ellos, iniciándose la lectura por la mayor profundidad y finalizando en superficie.

Únicamente se han registrado en las tablas (Tablas 1 a 4, Anexo II) las medidas propias de las profundidades (1, 5, 10, 20 y 40 m) correspondientes a los 22 puntos de muestreo seleccionados, aunque se dispuso de un número de medidas mayor con las cuales se calcularon los valores medios asignados a cada profundidad.

- pH

Los valores de pH obtenidos en los cuatro muestreos son bastante constantes variando entre 8,46 (4º muestreo) y 8,19 (2º muestreo), siendo la media de 8,30 (Figura 37), presentando una curtosis y asimetría positiva (Tabla 12).

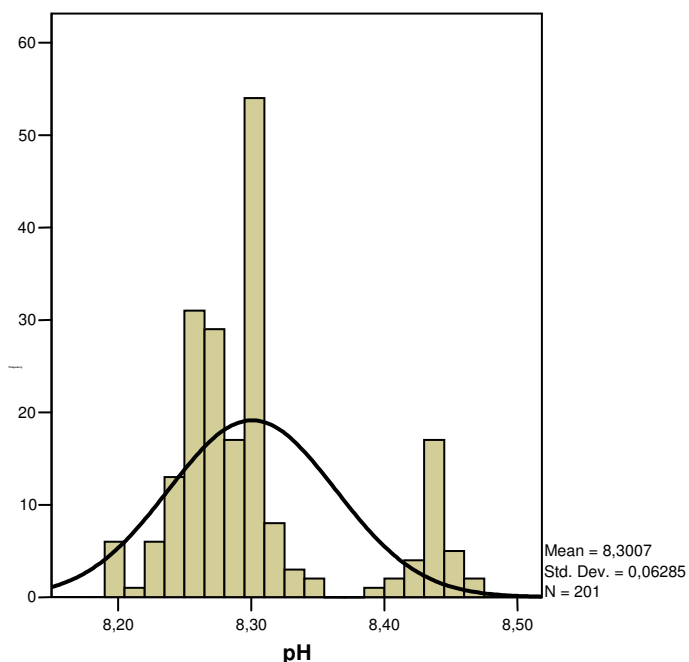


Figura 37. Distribución de frecuencias de los valores de pH

El pH de la mayoría de las aguas de mar en equilibrio con la atmósfera es de $8,2 \pm 0,1$. El pH tiende a presentar máximos en superficie debido a la fotosíntesis, la pérdida de CO_2 incrementa los valores de pH. En aguas profundas el pH puede elevarse debido a la disolución de CaCO_3 presente en los sedimentos (Millero, 2006).

Se han representado las variaciones de pH con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 38 a 41).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) es el 4º muestreo el que presenta valores mayores de pH (8,40 – 8,45) pero los otros tres muestreos presentan valores similares en torno a 8,30 (Figura 38).

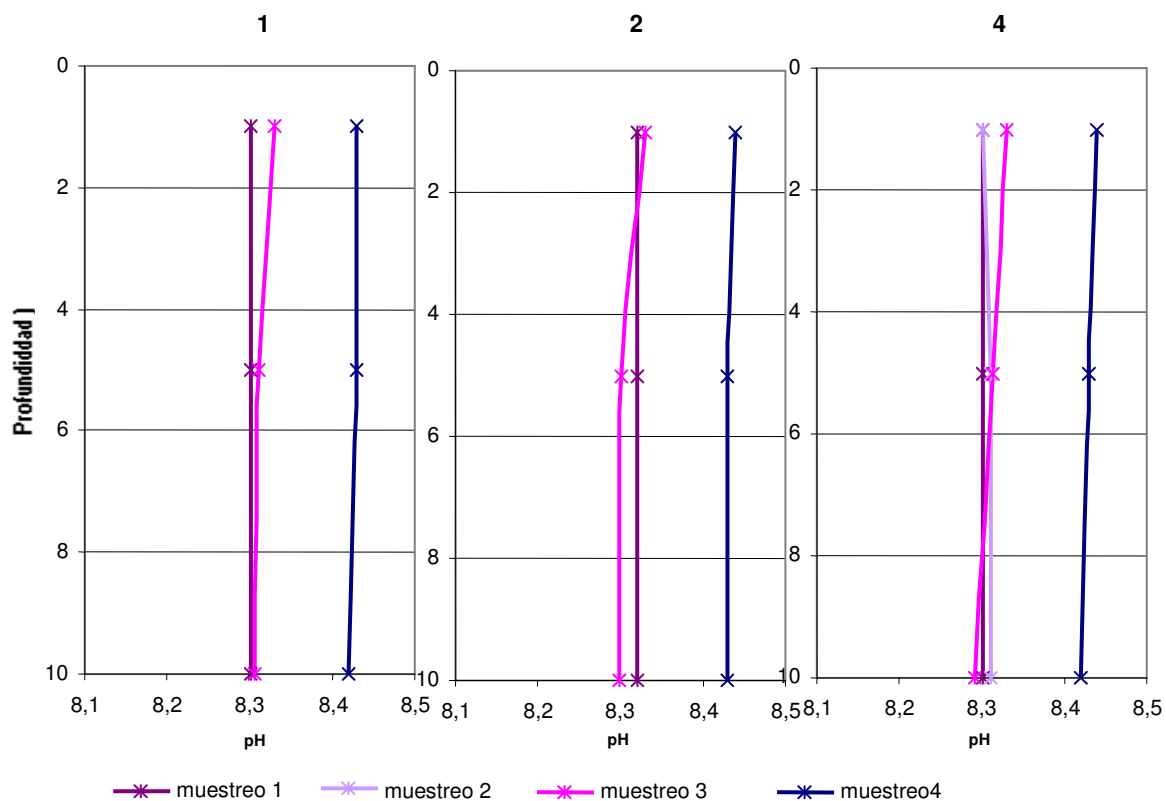
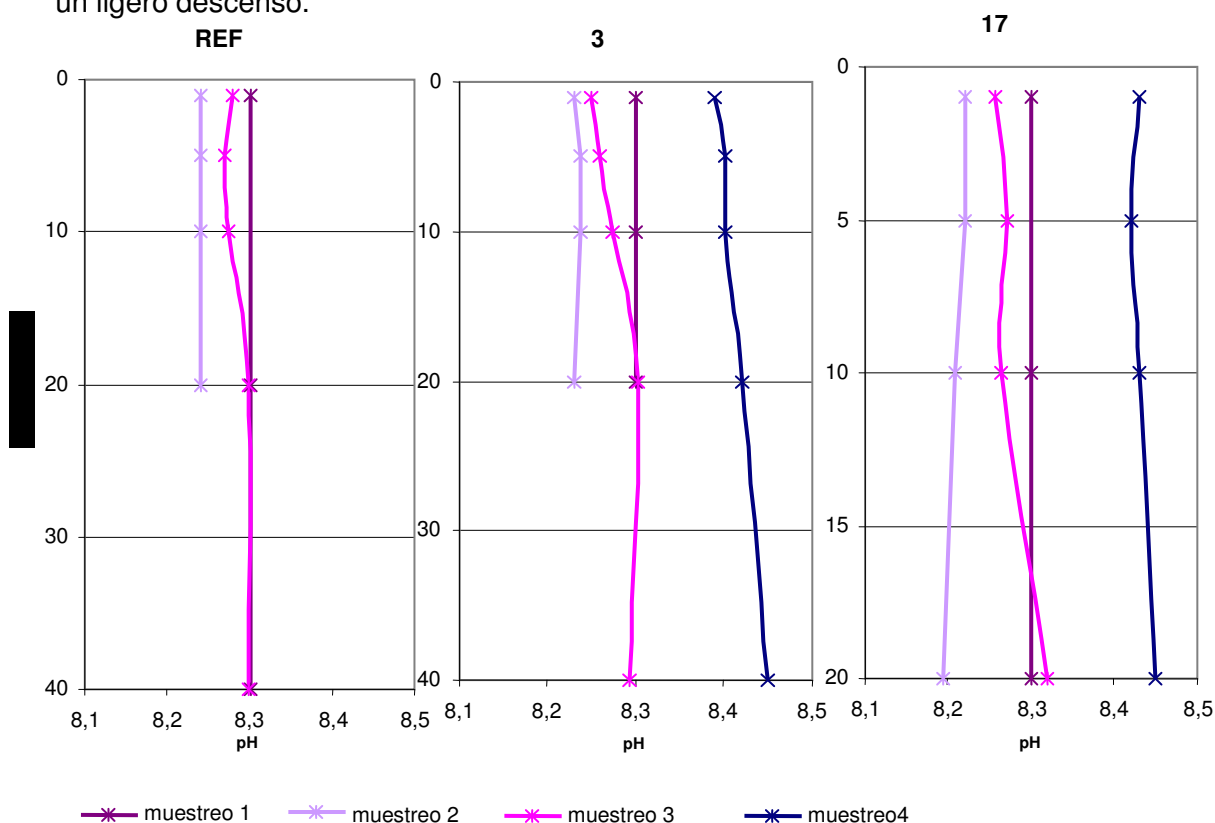


Figura 38. Distribución de pH con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo.

En la **zona exterior** (Masa 2) se aprecia una gradación en los valores de pH con respecto a los diferentes muestreos, así el 4º muestreo es siempre el que presenta valores mayores y el muestreo 2º el que presenta valores menores (Figura 39).

Con respecto a la profundidad las variaciones de pH no son muy grandes, sin embargo se aprecia cierta tendencia a aumentar a partir de 10 m de profundidad, excepto en el punto 17 en el 2º muestreo donde la tendencia es a un ligero descenso.



* La escala vertical del punto 17 está duplicada.

Figura 39. Distribución de pH con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo.

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) es también el 4º muestreo el que presenta valores mayores de pH (8,45) y el 2º muestreo el que presenta valores menores (8,25-8,20) (Figura 40).

Con respecto a la profundidad se observa cierta tendencia a aumentar el pH desde superficie hasta 5 m para luego mantenerse prácticamente constante. Resaltar el comportamiento del punto 9 en el 1º muestreo, que de superficie a 5 m de profundidad aumenta 0,1 unidades sus valores de pH (Figura 40).

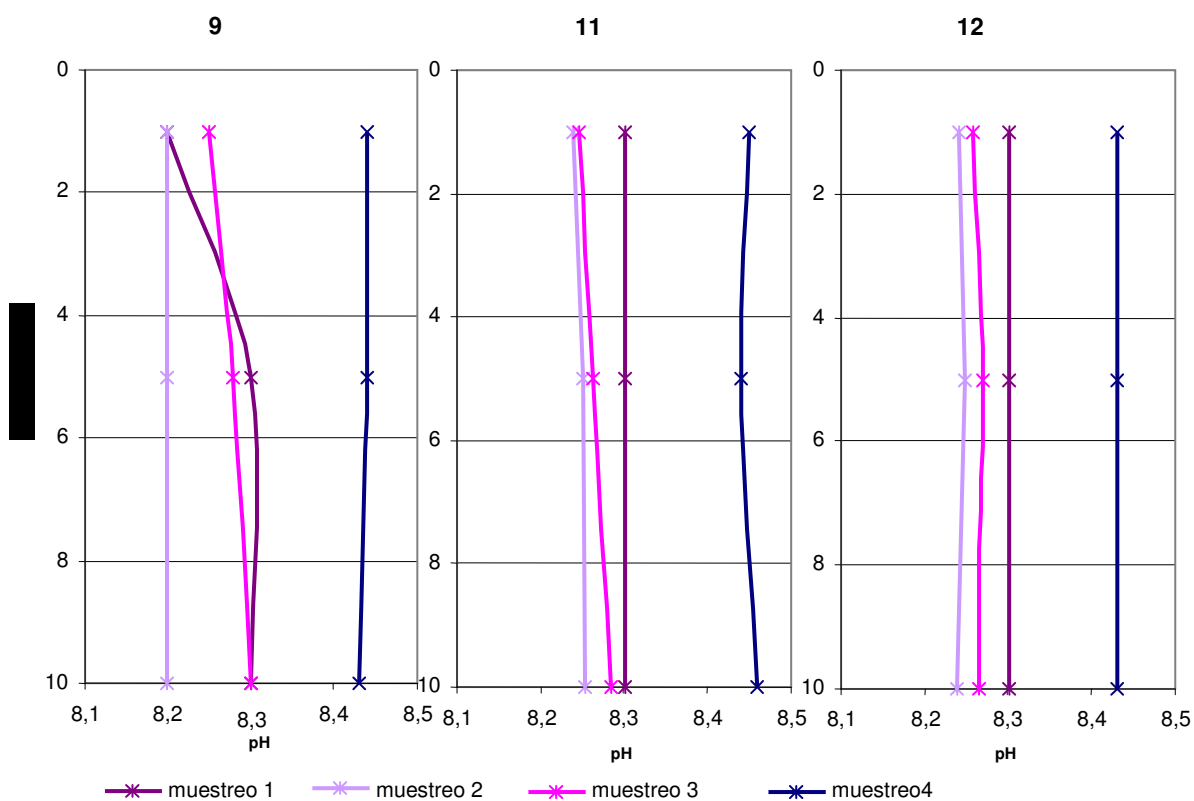
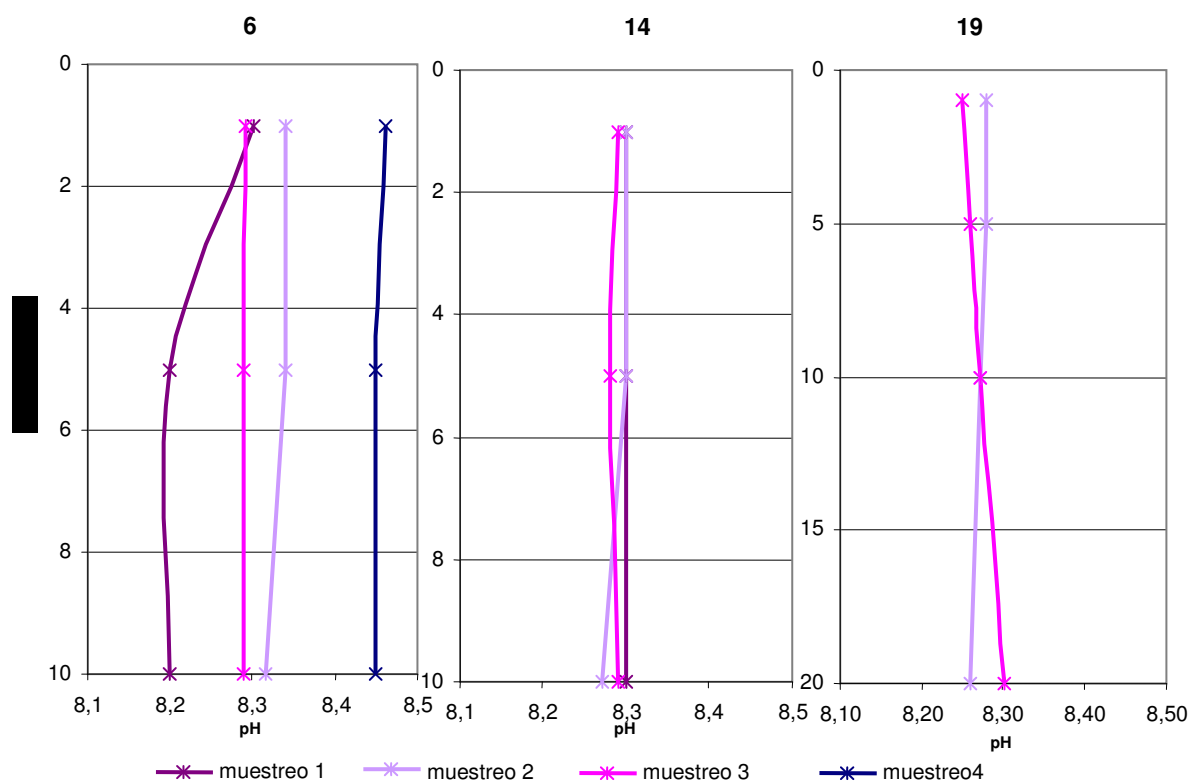


Figura 40. Distribución de pH con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo.

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas en esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

En la representación de pH frente a profundidad (Figura 41) se aprecia como los valores para los puntos 14 y 19 son muy similares en todos los muestreos y profundidades, mientras que el punto 6 tiene diferencias en función del muestreo.



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 41. Distribución de pH con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

En general los valores tienden a permanecer constantes, aunque en la zona exterior (Masa 2) y la dársena de Escombreras (Masa 3) el pH aumenta ligeramente con la profundidad, mientras que en la dársena de Cartagena (Masa 1) desciende.

En cuanto a las variaciones espaciales se observa (Figura 42) que los valores de pH mayores y más homogéneos aparecen en el 4º muestreo (8,45), siendo el 2º muestreo el que presenta valores menores (8,20 a 8,30).

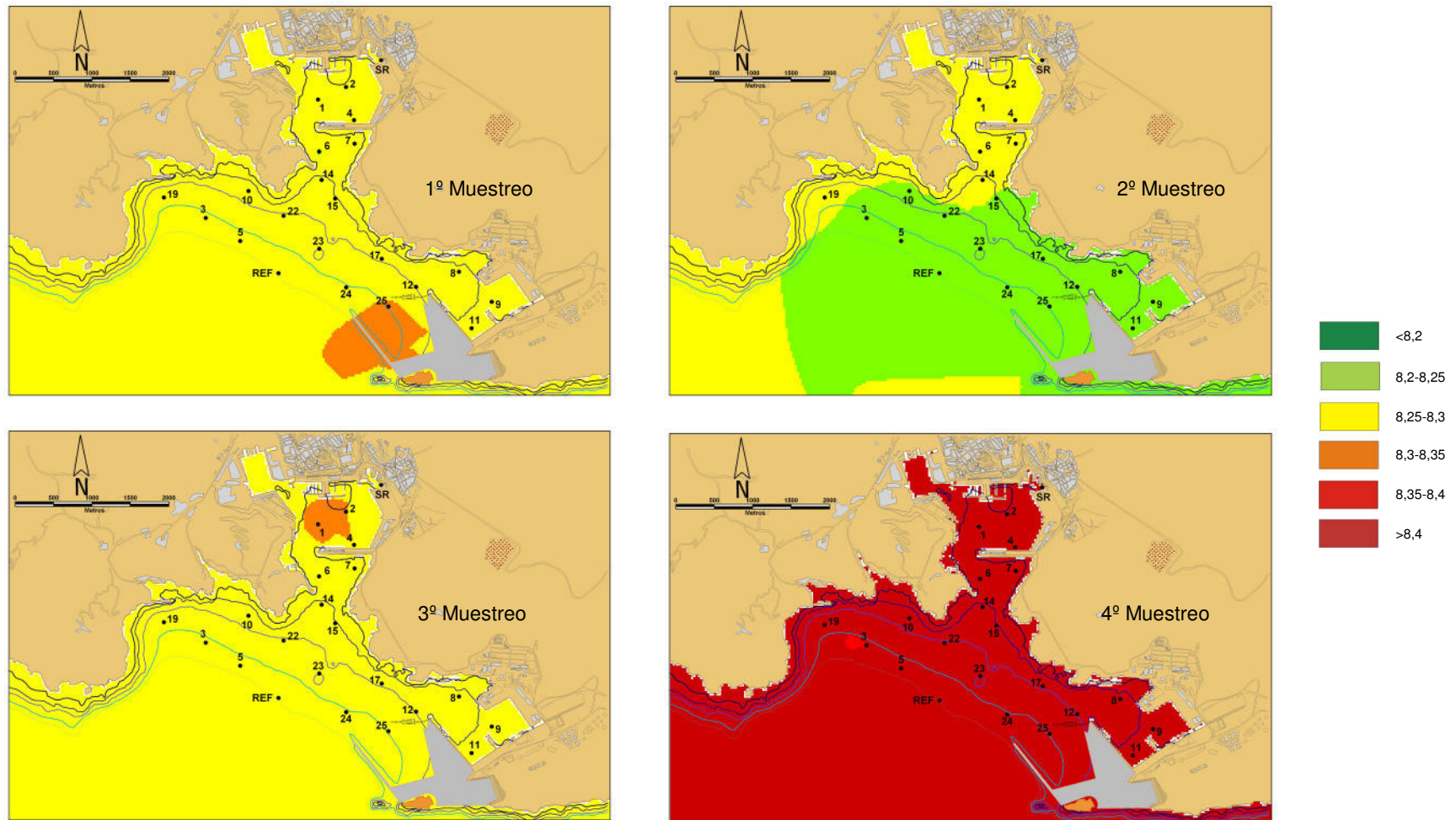


Figura 42. Distribución espacial de valores medios de pH en cada muestreo.

- Temperatura

En las aguas costeras se aprecian marcados ciclos estacionales sobre todo en la distribución vertical de las principales variables hidrográficas (temperatura y salinidad). Así en primavera y verano la estructura más características del agua es la aparición de una diferenciación vertical en dos capas separadas por un cambio brusco de temperatura (termoclina) a la cual van asociados otros cambios de gradiente más o menos marcados (salinidad, clorofila A, nutrientes, etc.) (Borja et al, 2003a).

La temperatura de la columna de agua está directamente relacionada con la temperatura ambiente en cada muestreo (Tabla 10), así se observa en la distribución de frecuencias (Figura 43) como hay temperaturas desde 14°C a 24°C, siendo la media 18°C, las mayores frecuencias se localizan en torno a valores de 15°C y 23°C presentando una distribución normal invertida, curtosis negativa, y asimetría positiva (Tabla 12, Figura 43).

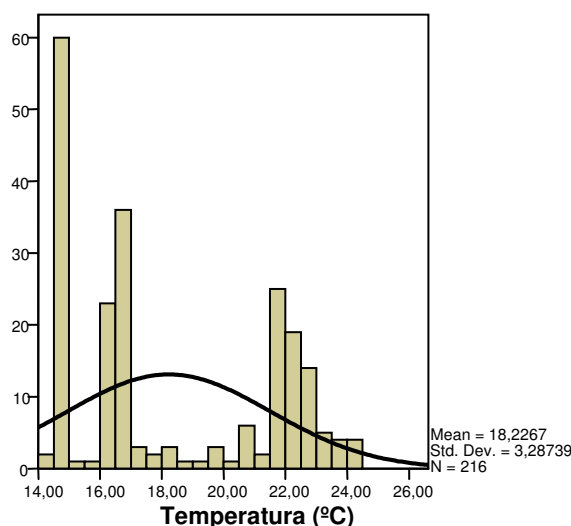


Figura 43. Distribución de frecuencias de Temperatura (°C)

Se han representado las variaciones de temperatura con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 44 a 47).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) se observa que en los muestreos 1º, 2º y 4º las temperaturas se mantienen prácticamente constantes entre superficie y 10 m que es la profundidad máxima. Sin embargo en el 3º muestreo se produce una disminución de la temperatura a partir de 5 m de profundidad (Figura 44), lo cual sugiere una estratificación a partir del mes de junio momento en el cual la capa de agua superficial presenta una temperatura relacionada con la temperatura ambiente (Tabla 12) y aparece una capa de agua por debajo de 5 m con temperaturas menores (20º a 17ºC).

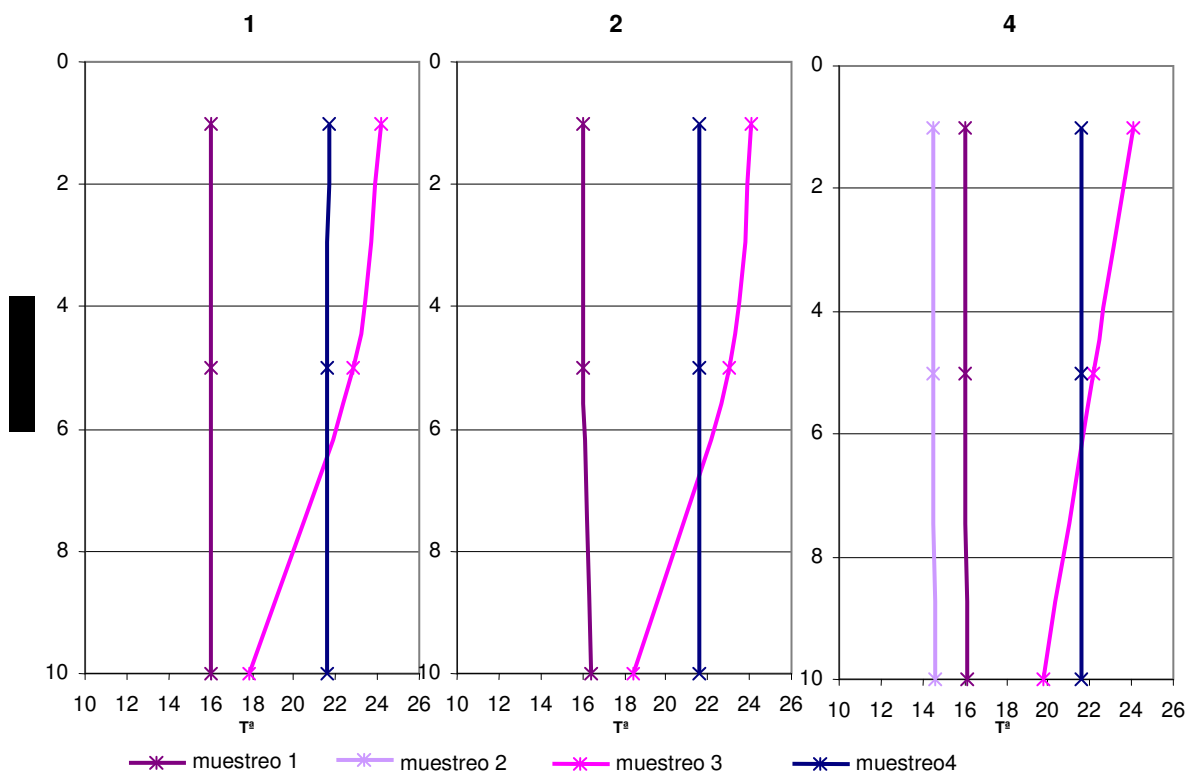


Figura 44. Distribución de temperatura (°C) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo.

En la **zona exterior** (Masa 2) se aprecia como el 1º y 2º muestreo presentan temperaturas constantes en todas las profundidades (17°C y 15°C respectivamente), sin embargo el 3º y 4º muestreo presentan un descenso de las temperaturas con la profundidad hasta llegar a una profundidad de 20 m donde se alcanza una temperatura próxima a los 16°C y a partir de esta desciende de una forma más suave hasta los 40 m de profundidad alcanzando entre 14º y 15°C (Figura 45).

Parece que se forma una estratificación de la columna de agua a partir del mes de junio (3º muestreo) y hasta el mes de octubre (4º muestreo) quedando una capa superior (hasta 20 m) de aguas de temperaturas mayores de 16°C influenciadas por la temperatura ambiente y una capa inferior (desde 20 a 40 m) de aguas de temperatura prácticamente constante a lo largo del año con fluctuaciones entre 15 y 17°C (Figura 45).

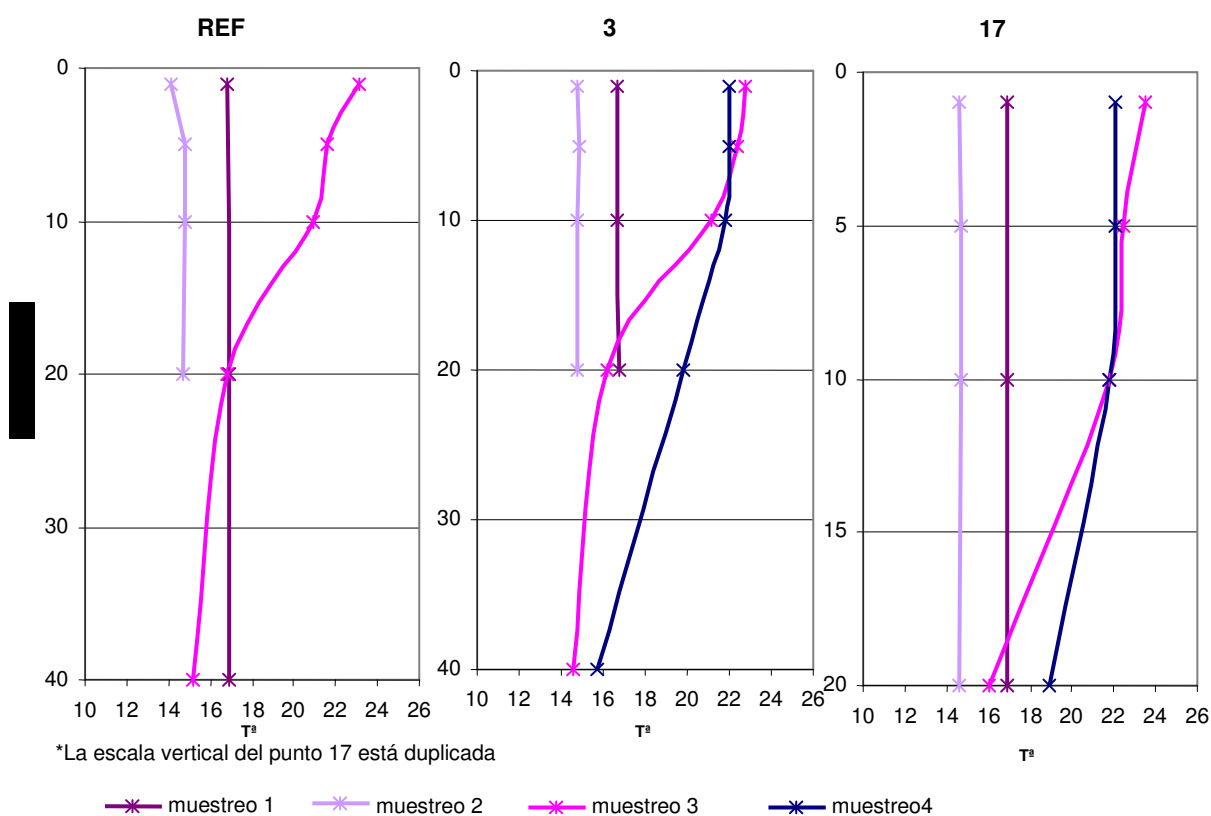
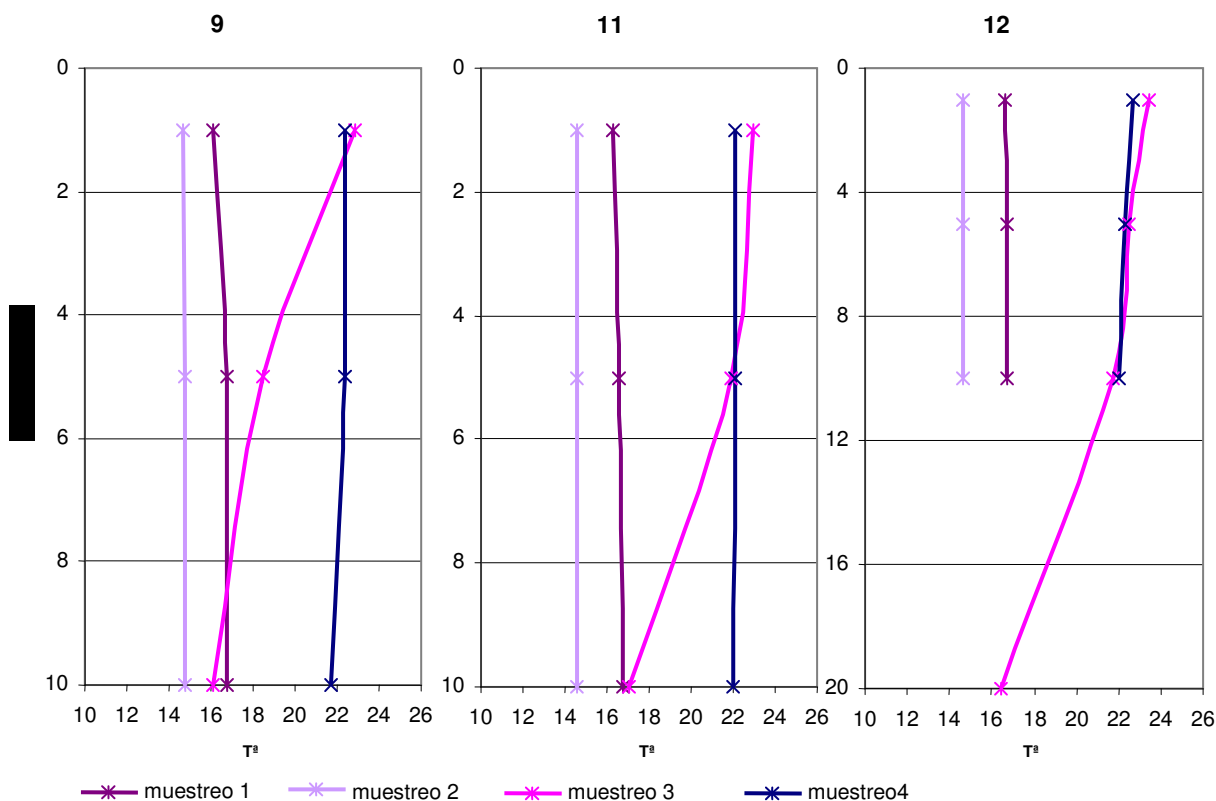


Figura 45. Distribución de temperatura (°C) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo.

En la **dársena de Escombreras** se observa como el comportamiento para las muestras de profundidad máxima 10 m es similar a la dársena de Cartagena, estableciéndose en el 3º muestreo una estratificación a partir de 5 m, sin embargo en esta dársena hay profundidades mayores y próximas a 20 m (puntos 12 y 25) en estos casos la estratificación también aparece en el 3º muestreo, pero a partir de los 10 m (Figura 46).

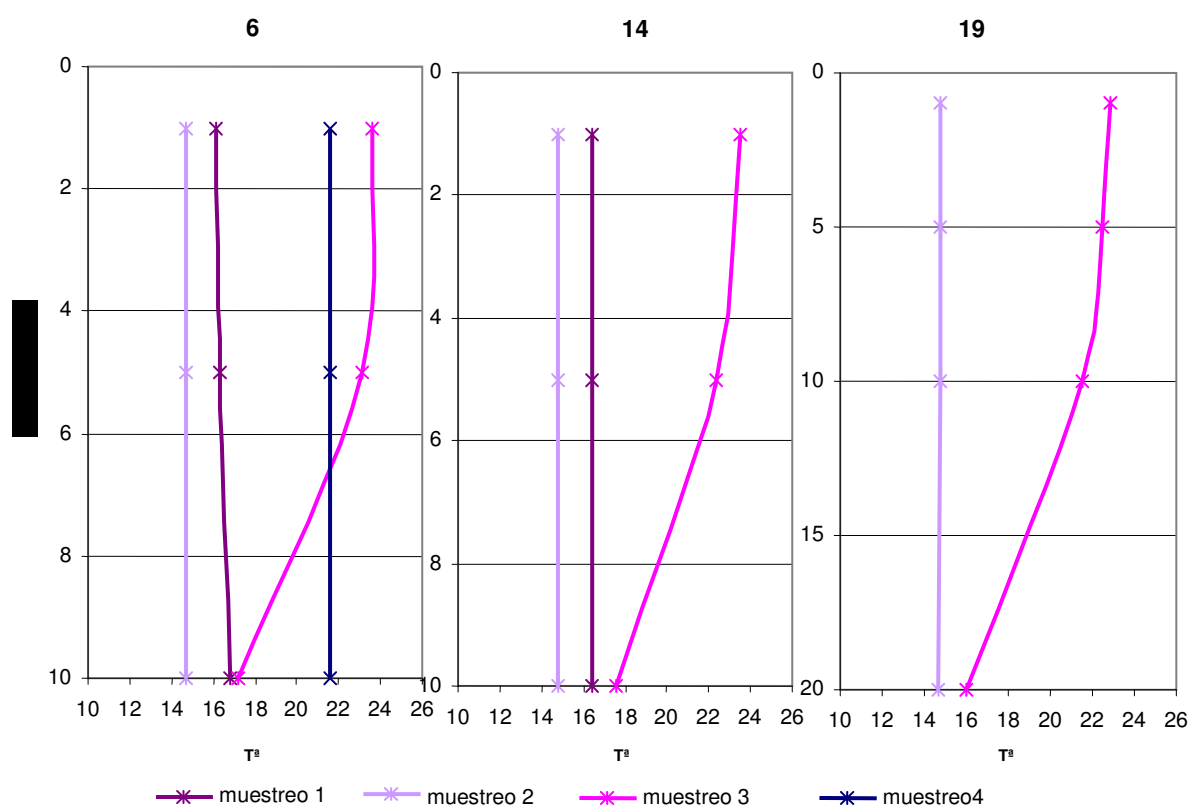


*La escala vertical del punto 12 reducida a la mitad

Figura 46. Distribución de temperatura (°C) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo.

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas es esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

En la representación de temperatura frente a profundidad (Figura 47) se aprecia como los valores en todos los puntos son muy similares para el 1º y 2º muestreo donde la temperatura permanece prácticamente constante con la profundidad, mientras que en el 3º muestreo en los puntos 6 y 14 a partir de 5 m de profundidad desciende la temperatura, esto ocurre también en el punto 19, pero a partir de 10 m.



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 47. Distribución de temperatura con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

La distribución espacial de temperatura (Figura 48) para el 1º y 2º muestreo permite observar que en el 1º muestreo la variabilidad de temperatura es mayor que en el 2º. Las temperaturas menores aparecen en el interior de las dársenas, coincidiendo con los puntos de menor profundidad y por lo tanto con mayor influencia de la temperatura ambiente (Tabla 10).

La distribución espacial del 3º y 4º muestreo se representa por profundidades ya que en estos muestreos puede observarse la formación de la termoclina (Figuras 1 y 2, Anexo III), así en el 3º muestreo la temperatura es homogénea (16º-17º) a 20 m y en el 4º muestreo es homogénea a partir de 10 m (21-22ºC).

En general son el 3º y 4º muestreo los que presentan temperaturas más elevadas (22º a 24ºC) y con una estratificación destacada. El periodo de menores temperaturas fue el 2º muestreo (14º a 14,7ºC), seguido por el 1º muestreo (16ºC a 17ºC).

Parece que en función de la profundidad total del punto de muestreo la estratificación de la temperatura se establece a partir de 5 m en zonas de poca profundidad y a partir de 10 m en la zona exterior (Masa 2) con profundidades superiores. Esta diferenciación es también válida para el pH, parámetro que en la Masa 2 aumenta sus valores en paralelo al descenso de temperatura (Figuras 39 y 45).

En la zona exterior (Masa 2) la estratificación se establece en el 3º y 4º muestreo, mientras que en las dársenas (Masas 1 y 3) y la zona de transición (Masa 4) la estratificación se establece únicamente en el 3º muestreo.

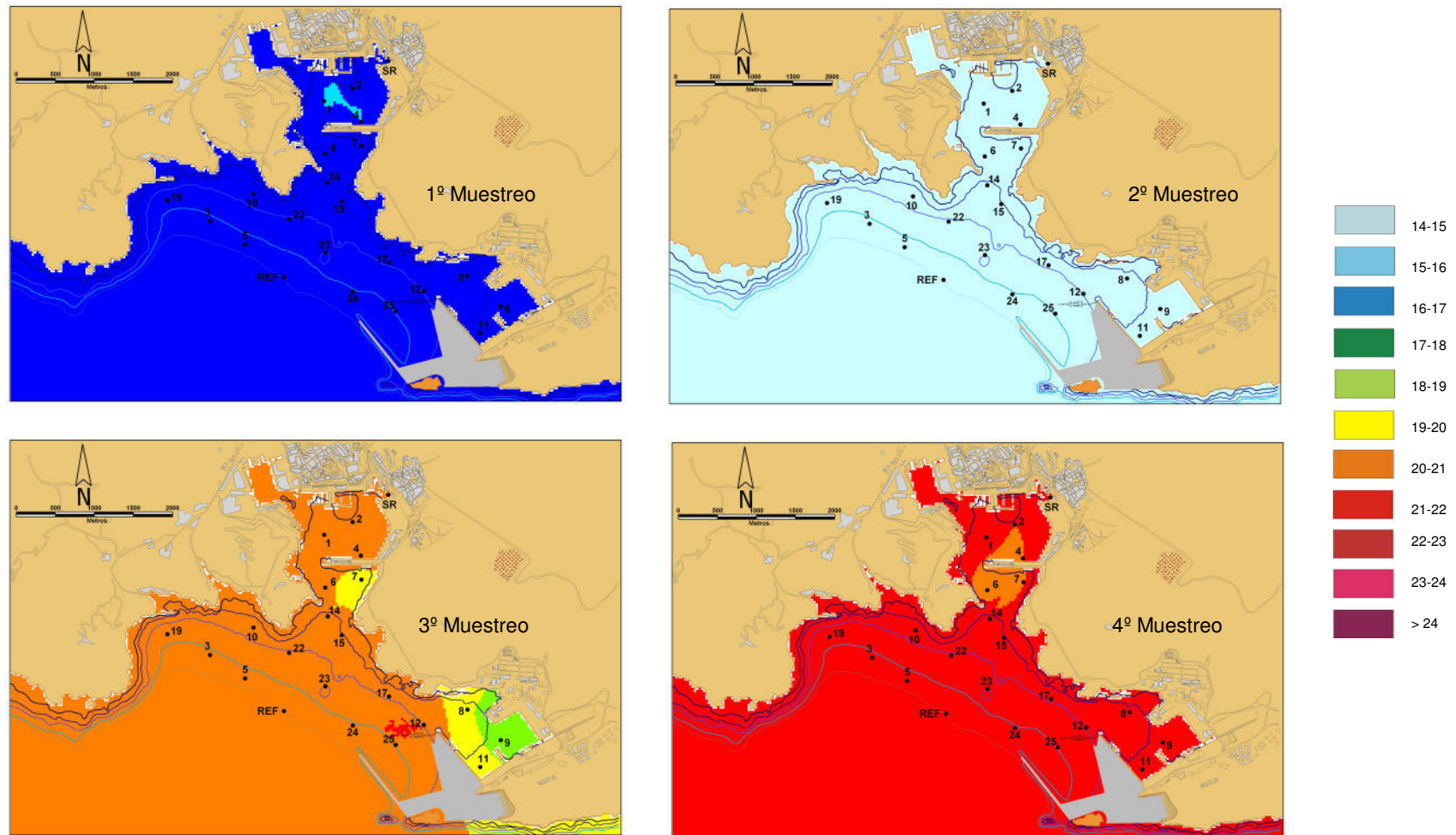


Figura 48. Evolución espacial de la temperatura (°C) para cada muestreo como valor medio en cada punto

- C.E.

Los valores de conductividad eléctrica oscilan entre 45 y 57 mS/cm, con un valor medio de 49,6 mS/cm, los valores se distribuyen preferentemente en los extremos de la distribución de frecuencias (46 mS/cm y 55 mS/cm) siendo esta una normal invertida, curtosis negativa, y con asimetría próxima a cero (Tabla 12, Figura 49).

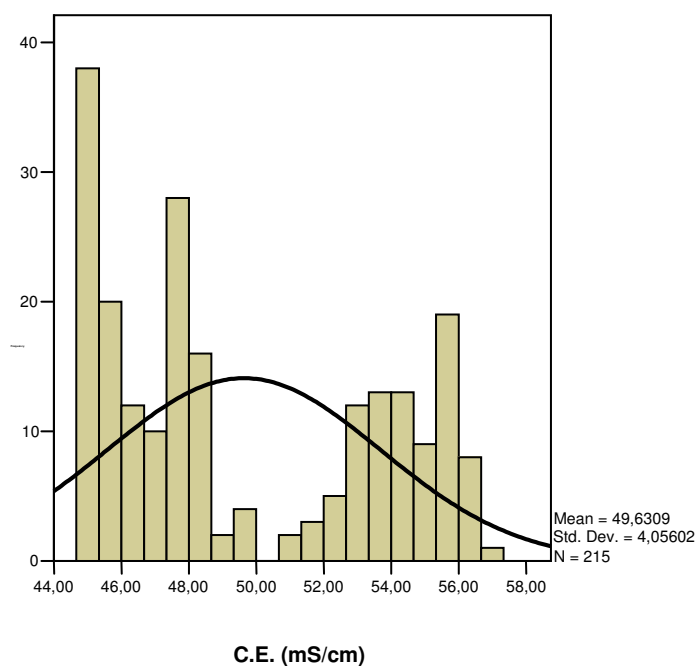


Figura 49. Distribución de frecuencias de C.E. (mS/cm)

Se han representado las variaciones de C.E. con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 50 a 53).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) los mayores valores de C.E. se alcanzan en el 4º muestreo (55 mS/cm), se aprecia como los valores se mantienen prácticamente constantes con la profundidad en todos los muestreos, excepto en el 3º muestreo donde a partir de 5 m de profundidad los valores de C.E. descienden de 55 a 47 mS/cm (Figura 50).

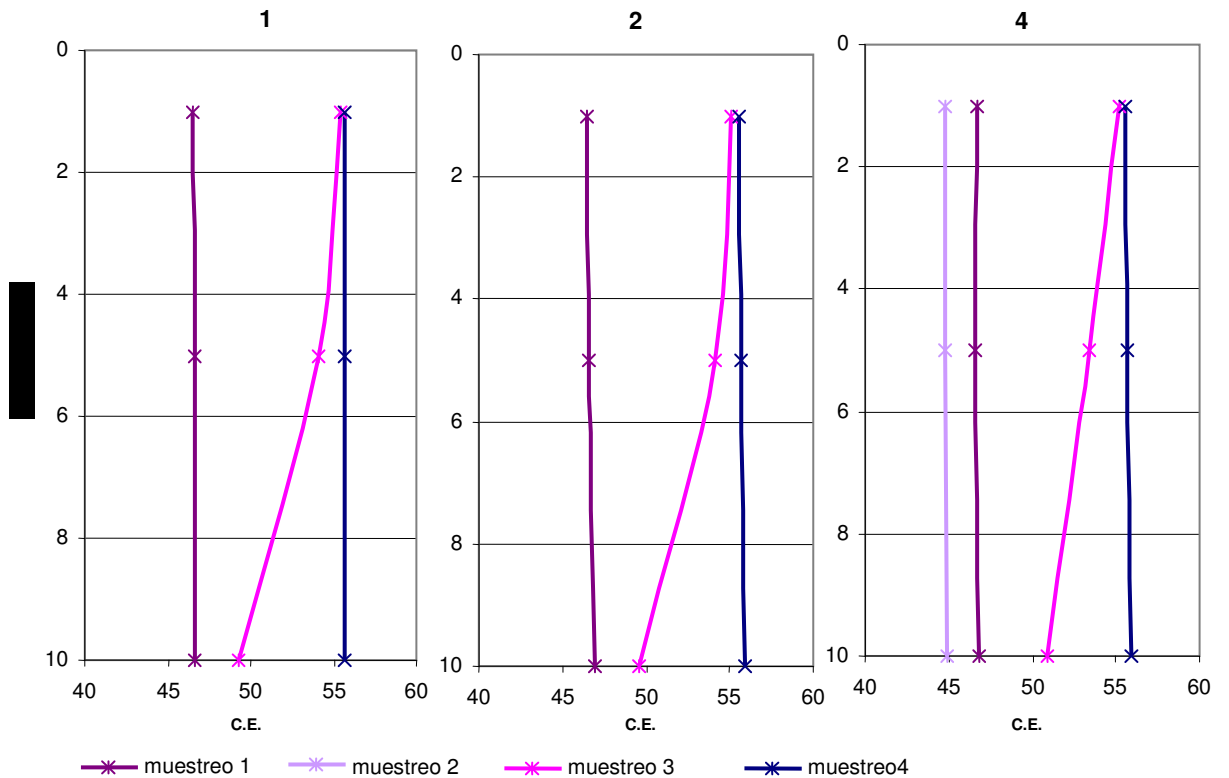
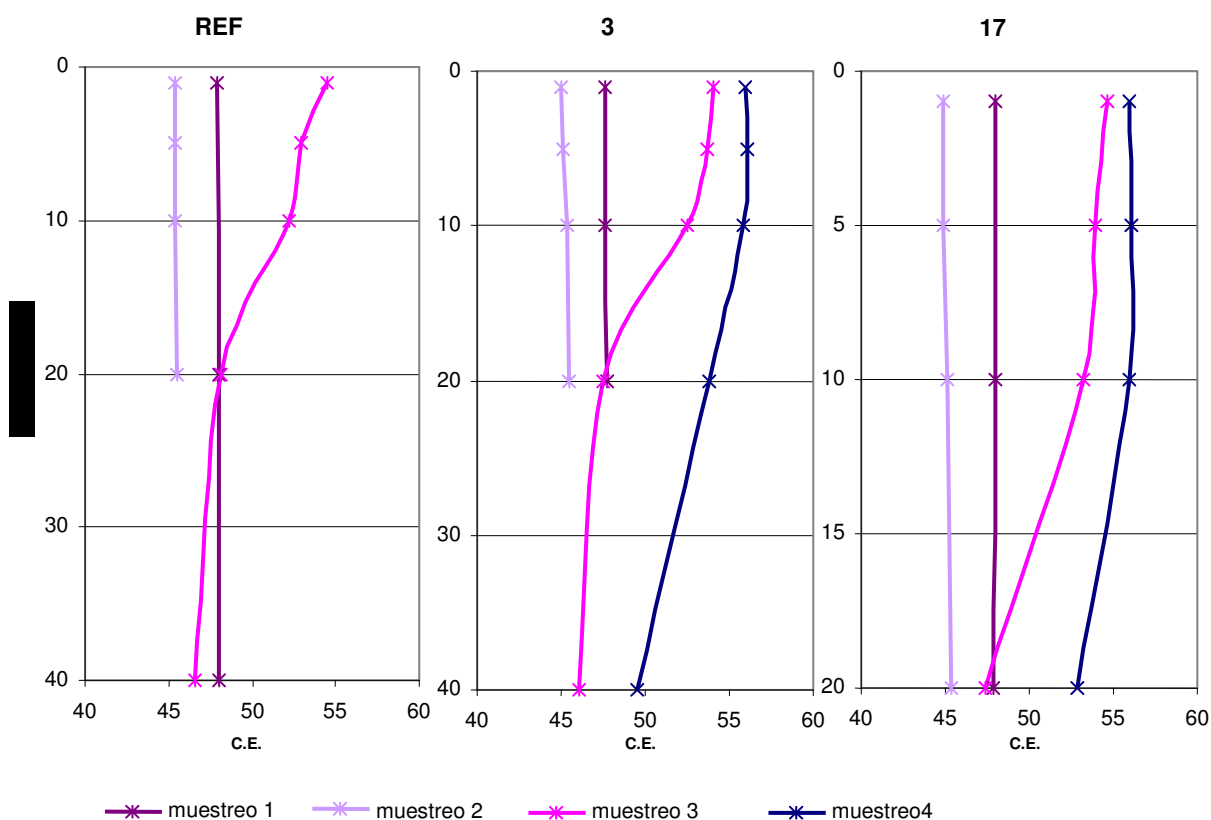


Figura 50. Distribución de la C.E. (mS/cm) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo.

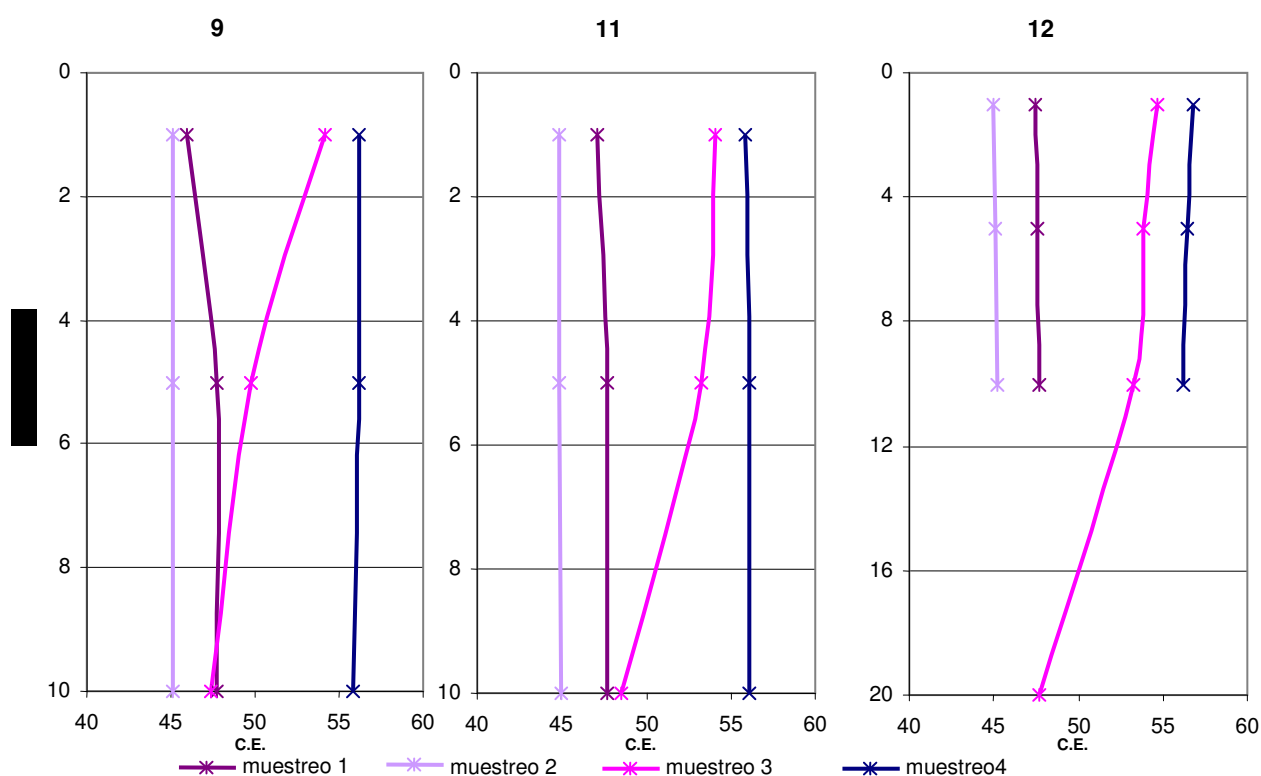
En la **zona exterior** (Masa 2) la conductividad eléctrica desciende del 1º al 2º muestreo y aumenta de este al 3º y al 4º muestreo (Figura 51). La tendencia con la profundidad en el 1º y 2º muestreo es prácticamente constante, mientras que en el 3º y 4º muestreo hay un descenso brusco entre los 10 y 20 m de profundidad (Figura 51) coincidiendo con la estratificación debida a la temperatura.



*La escala vertical del punto 17 está duplicada.

Figura 51. Distribución de la C.E. (mS/cm) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo.

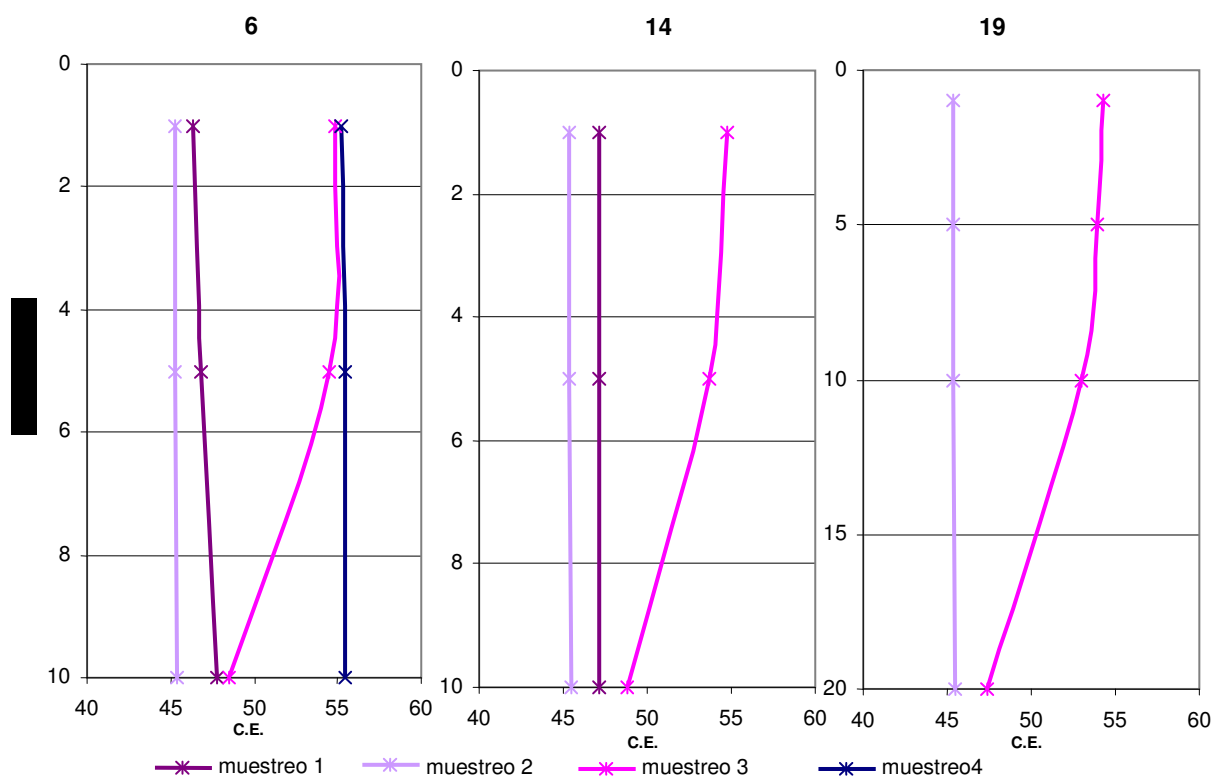
En la **dársena de Escombreras** los valores más elevados se alcanzan en el 4º muestreo y los menores en el 2º muestreo, siendo en este muestreo prácticamente constantes con la profundidad (45 mS/cm). En el 1º muestreo en los puntos 9 y 11 se aprecia una tendencia a aumentar la C.E. hasta 5 m de profundidad, para mantenerse constante a profundidades mayores, sin embargo en el 3º muestreo las muestras de profundidad máxima de 10 m presentan una tendencia a disminuir a partir de 5 m, mientras que las muestras de mayor profundidad la disminución se inicia a 10 m de profundidad (Figura 52).



*La escala vertical del punto 12 reducida a la mitad

Figura 52. Distribución de la C.E. (mS/cm) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo.

En la **zona de transición** (Masa 4) los valores más elevados se alcanzan en el 4º muestreo (55 mS/cm) y los menores en el 2º muestreo (45 mS/cm), siendo en este muestreo y el 1º prácticamente constantes con la profundidad. En el 3º muestreo en los puntos 6 y 14 se aprecia una tendencia a disminuir la C.E. a partir de 5 m de profundidad, sin embargo el punto 19 presenta la misma tendencia, pero a partir de 10 m de profundidad (Figura 53).



*La escala vertical del punto 19 reducida a la mitad

Figura 53. Distribución de la C.E. (mS/cm) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

En todas las zonas la C.E. es mayor en el 4º muestreo (55 a 58 mS/cm) y muestra los menores valores en el 2º muestreo (45 mS/cm), siguiéndole el 1º y 3º, tal y como ocurría con la variación de temperatura. En puntos con profundidades superiores a 10 m existe una tendencia general a disminuir la C.E. entre los 10 y 20 m en el 3º muestreo, y en los puntos con profundidades máximas de 10 m el descenso brusco de C.E. se da entre los 5 y 10 m de profundidad, mostrando un comportamiento similar a la temperatura.

Respecto a la distribución espacial de este parámetro (Figura 54) los mayores valores aparecen siempre en el entorno de la dársena de Escombreras y los menores en la de Cartagena. Se aprecia como la C.E. y la temperatura están relacionadas en los cuatro muestreos lo cual podría indicar corrientes y aportes de zonas con temperaturas y C.E. similares (Figuras 48 y 54). Esta relación apoya el resultado del ACP (apartado 8.3.3.1) donde temperatura y C.E. forman parte del factor 1 (Tabla 15).

La distribución espacial del 3º y 4º muestreo se representa por profundidad, ya que en estos muestreos puede observarse variaciones con la misma (Figuras 3 y 4, Anexo III), así en el 3º muestreo la mayor variabilidad se aprecia a los 10 m de profundidad donde aparece una banda de máxima C.E. (52 a 54 mS/cm) en la zona exterior y el exterior de la dársena de Escombreras (Figura 3, Anexo III). homogénea a partir de 10 m (21-22°C).

En el 4º muestreo la variabilidad es menor, aunque los valores de conductividad son mayores en todas las profundidades (54 a 58 mS/cm), situándose los más elevados en la dársena de Escombreras y su entorno (Figura 4, Anexo III).

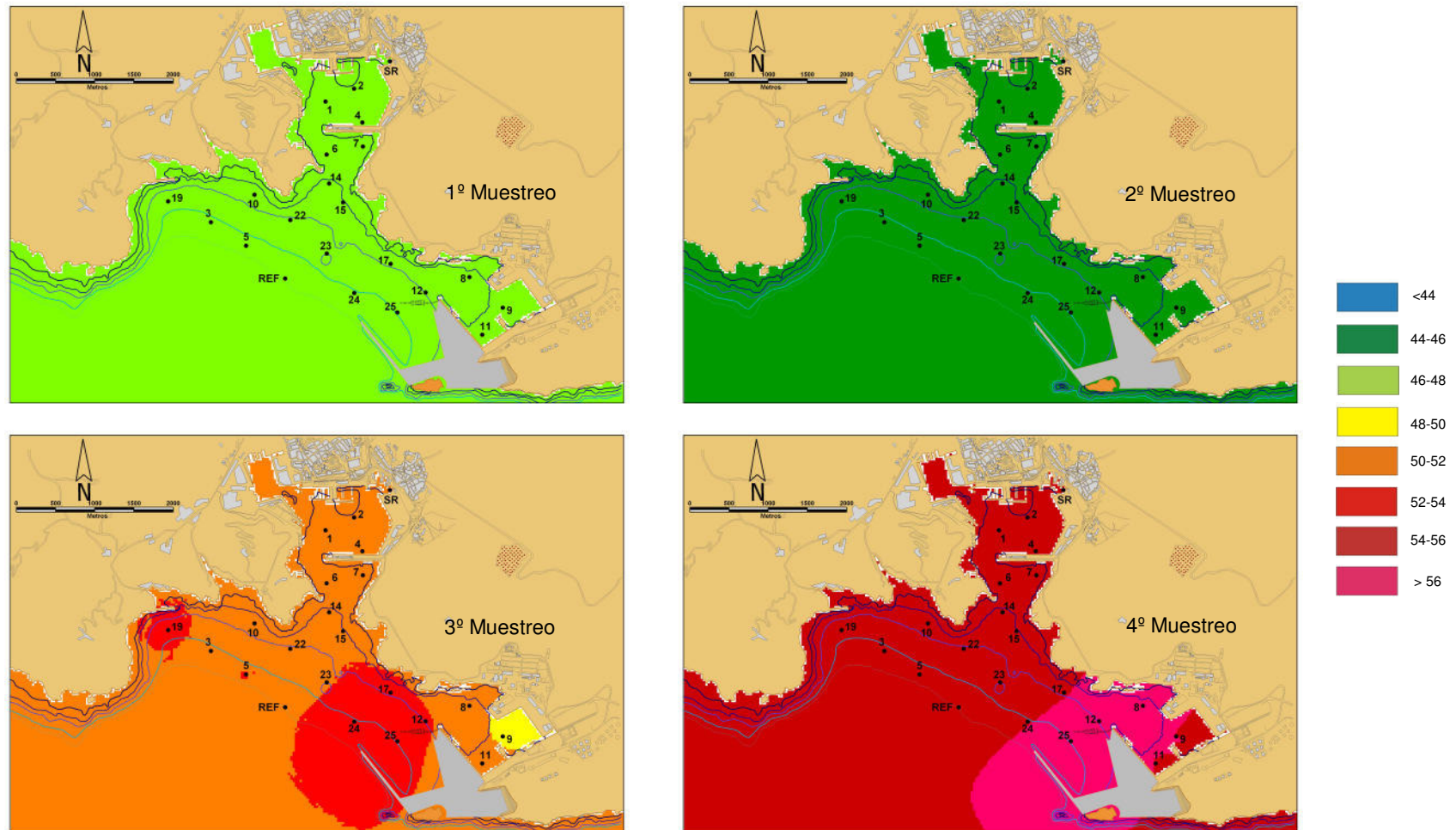


Figura 54. Distribución espacial de C.E. (mS/cm) en función de los valores medios de cada punto de muestreo

- Salinidad

Se discuten en este apartado los valores de salinidad verdadera (S_T) por ser los más adecuados como se discutió en el apartado 8.2. Los valores de S_T oscilan entre 31,4 y 45,5 g/l, siendo la media de 37,5 g/l (Tabla 11); coincidiendo con los valores medios del mar Mediterráneo (37 g/l, Millero, 2006) (Figura 55).

La distribución de frecuencias sigue una distribución normal, curtosis positiva, y presenta una asimetría negativa (Tabla 12), el rango de valores es más amplio por debajo de la media (Figura 55).

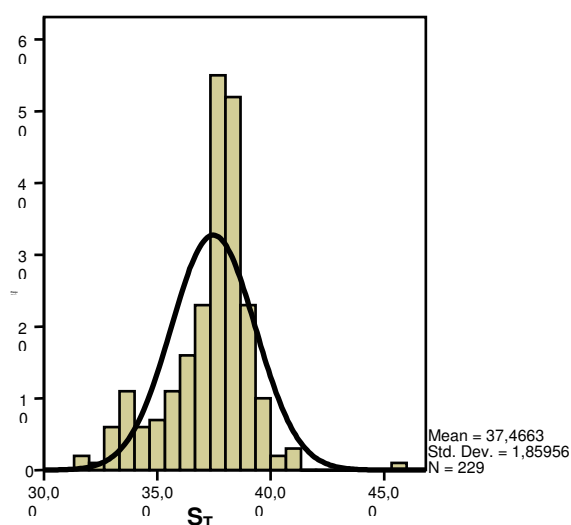


Figura 55. Distribución de frecuencias de salinidad (S_T) (g/l)

Se han representado las variaciones de salinidad (S_T) con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 56 a 59).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) se observa una ligera tendencia a aumentar la salinidad con la profundidad en el 3º y 4º muestreo. Aunque en general casi no existe diferencia entre los valores de superficie y 10 m de profundidad, existiendo una desviación a 5 m (Figura 56).

La desviación a 5 m difiere entre puntos y muestreo, así el 1º muestreo en los puntos 1 y 2 se desvía hacia valores mayores de salinidad, mientras que en el punto 4 lo hace hacia valores menores. El 2º muestreo se desvía hacia valores mayores en el punto 1, menores en el punto 2 y permanece constante en el punto 4. El 3º muestreo se desvía a 5m en todos los puntos ligeramente hacia valores menores y el 4º muestreo ligeramente hacia valores mayores. Luego tenemos siempre un cambio de tendencia a 5 m de profundidad (Figura 56).

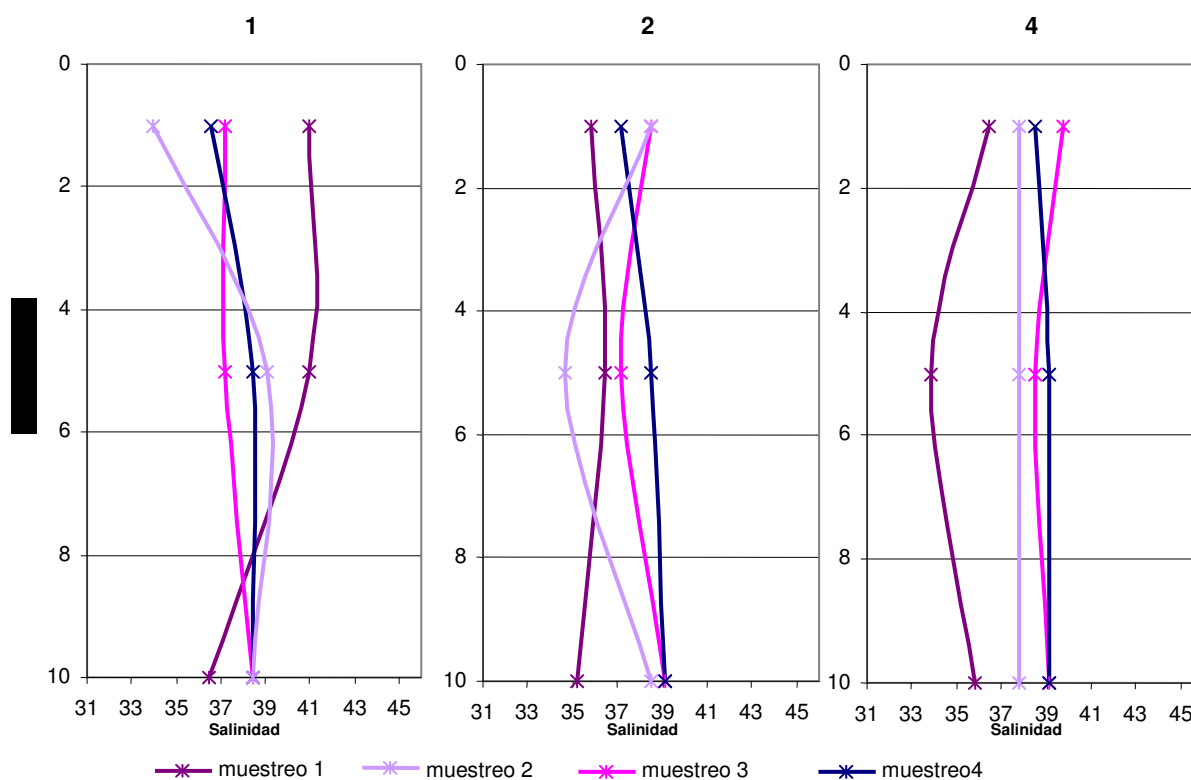
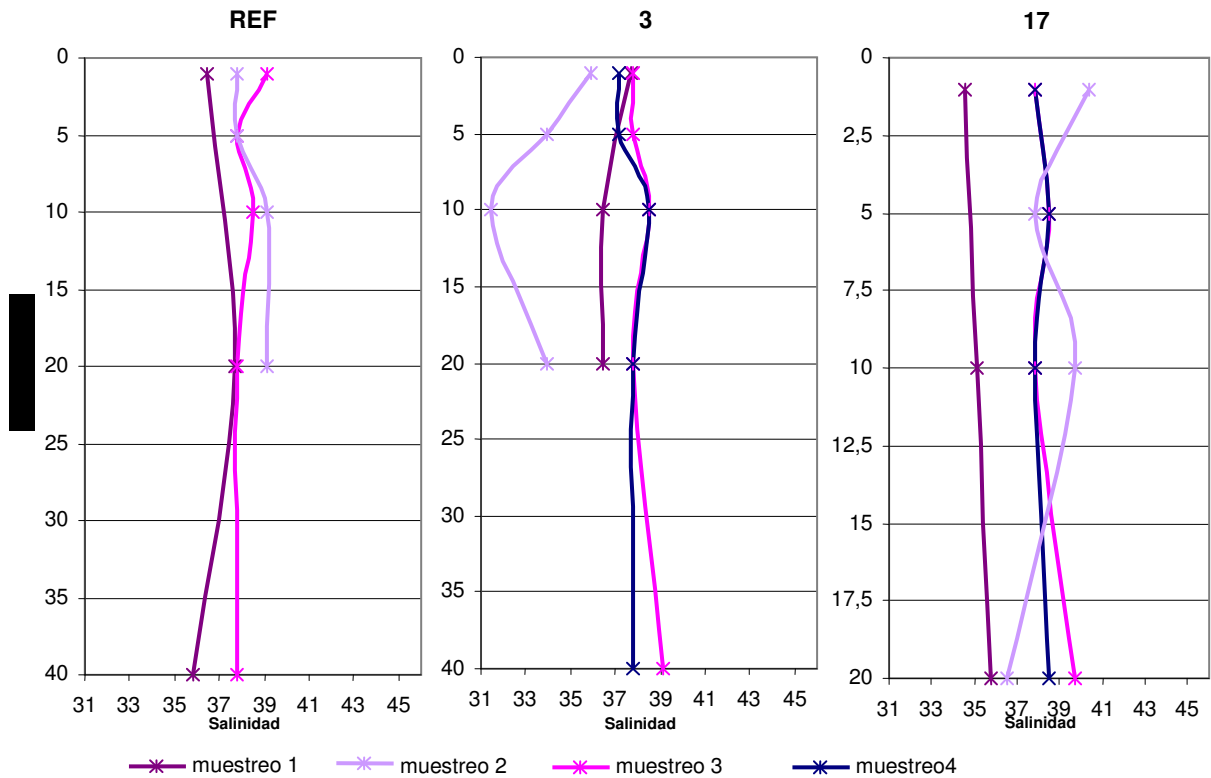


Figura 56. Distribución de la salinidad (S_T) (g/l) con la profundidad en dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo.

Para la **zona exterior** (Masa 2) el 1º muestreo aumenta la salinidad de superficie a 20 m en los puntos REF y 17, mientras que en punto 3 disminuye hasta 10 m para permanecer luego prácticamente constante (Figura 57).

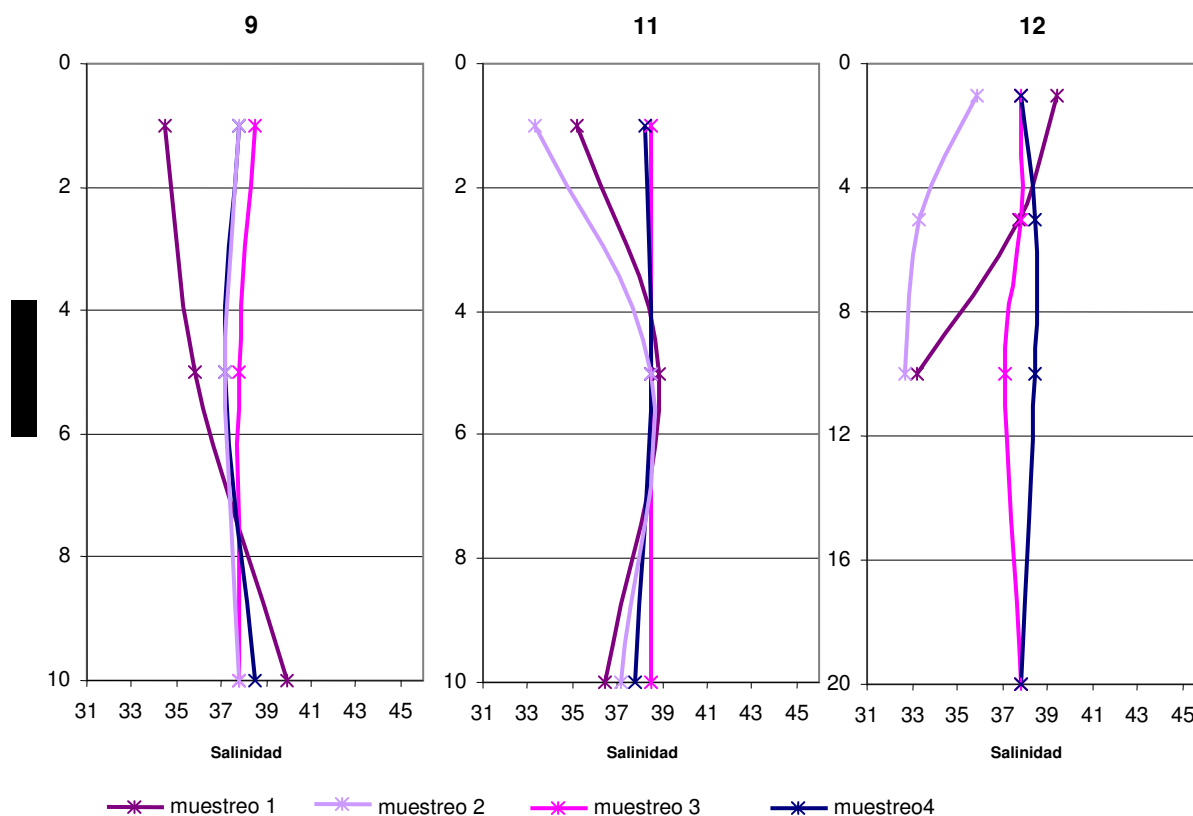
El 2º, 3º y 4º muestreo presentan una inflexión entre 5 y 10 m en todos los puntos, pero con diferente tendencia en cada uno de ellos, aunque 3º y 4º muestreo coinciden para cada punto por separado (Figura 57).



*La escala vertical del punto 17 está duplicada.

Figura 57. Distribución de la salinidad (S_T) (g/l) con la profundidad en zona exterior (Masa 2) para cada muestreo.

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los muestreos 3º y 4º se comportan de forma similar en los puntos 11 y 12, mientras que en el punto 9 son los muestreos 2º, 3º y 4º los que se comportan de forma similar. En el punto 11 los muestreos 1º y 2º son similares aumentando los valores de salinidad hasta 5 m, para disminuir después hasta 10 m de profundidad (Figura 58).



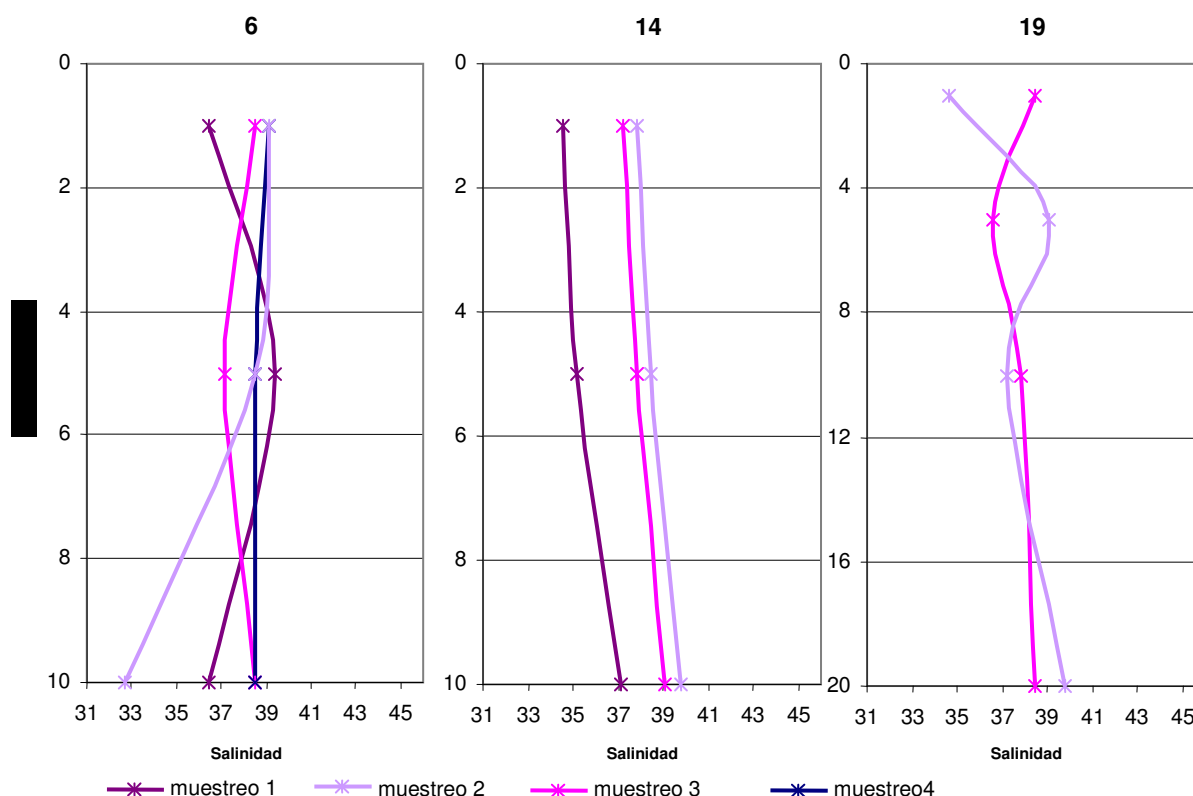
*La escala vertical del punto 12 reducida a la mitad

Figura 58. Distribución de la salinidad (S_T) (g/l) con la profundidad en dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo.

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas es esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

En el punto 6 los muestreos 3º y 4º tienen una tendencia similar que disminuye los valores de salinidad de superficie a 5 m de profundidad para aumentar después hasta 10 m de profundidad, tendencia similar del 3º muestreo se observa en el punto 19 donde al descender de 10 a 20 m de profundidad la tendencia a aumentar se mantiene pero más moderada (Figura 59).

El 1º y 2º muestreo tienen una tendencia similar en el punto 6, aumentando hasta alcanzar 5 m de profundidad para disminuir hasta 10 m de profundidad, esta tendencia del 2º muestreo se repite en el punto 19, para aumentar luego entre 10 y 20 m de profundidad. En el punto 14 los muestreos 1º, 2º y 3º se comportan de igual manera, la tendencia es a aumentar con la profundidad (Figura 59).



*La escala vertical del punto reducida a la mitad

Figura 59. Distribución de la salinidad (S_T) (g/l) con la profundidad en zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

Los valores de salinidad presentan un cambio en sus tendencias generalmente entre 5 y 10 m de profundidad en todas las zonas, lo cual también ocurre con la C.E.; de igual modo se aprecia que los muestreos 1º y 2º suelen presentar tendencias similares e igualmente los muestreo 3º y 4º, lo cual hace suponer una relación entre la formación de la termoclina y los valores de salinidad.

La distribución espacial de salinidad se ha representado por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 5 a 8, Anexo III).

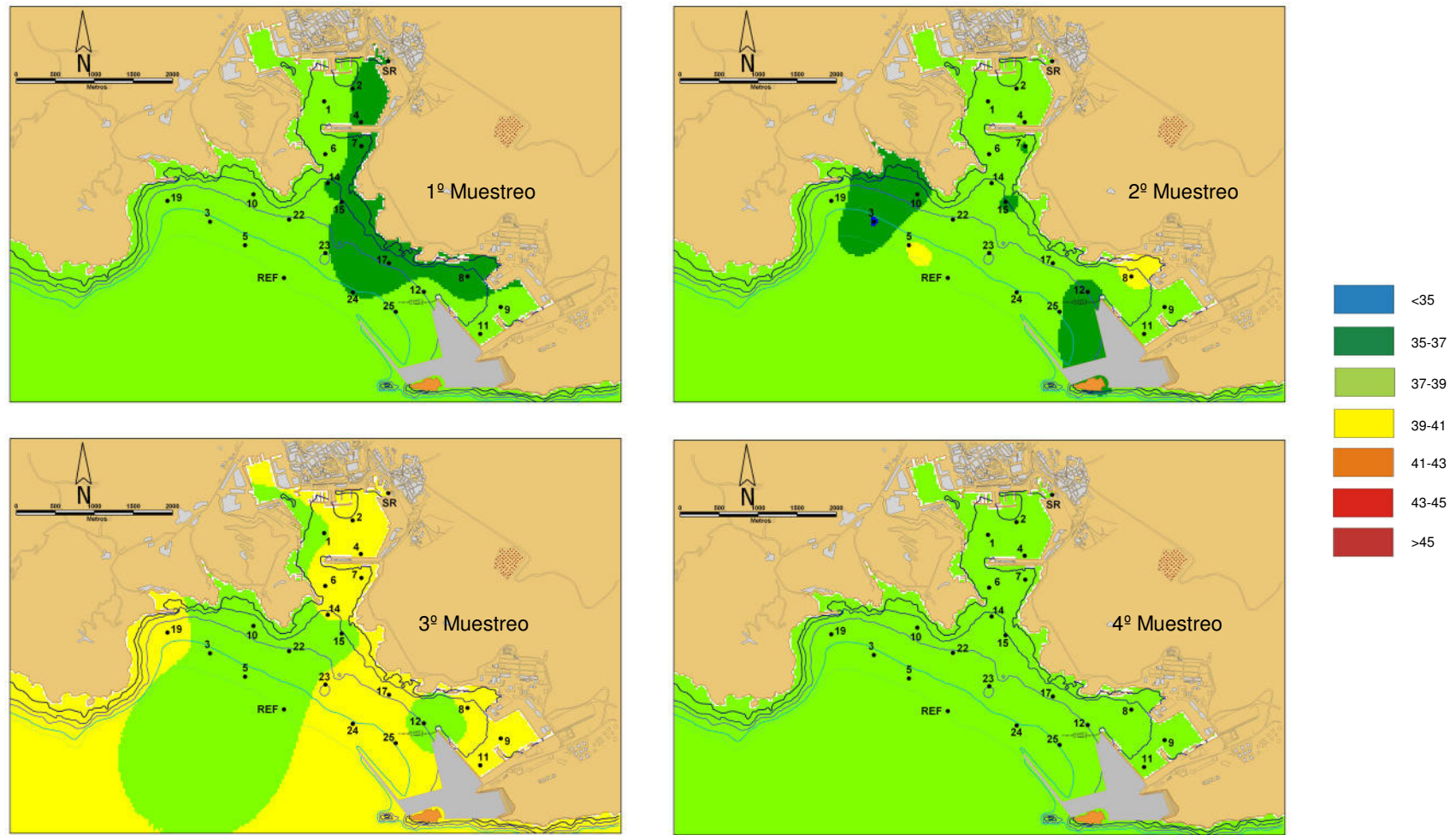


Figura 60. Distribución espacial de salinidad (g/l) en función de los valores medios en cada punto de muestreo

- Turbidez

La turbidez de las aguas costeras puede estar relacionada con fenómenos naturales o antrópicos, así en superficie su aumento puede ser debido a los ciclos de producción de fitoplacton o a la descarga de cursos de aguas superficiales. En profundidad puede deberse a periodos de “mar de fondo” o corrientes. Pero es también habitual que sea una variable relacionada con la existencia de vertidos que aumentan tanto las partículas en suspensión, como la cantidad de nutrientes disponibles provocando aumentos de actividad biológica anómala.

Se han eliminado de los datos de turbidez aquellos correspondientes al 3º muestreo debido a un mal funcionamiento del detector durante el mismo.

La turbidez presenta una distribución de frecuencias tipo *chi cuadrado* (Figura 61), con curtosis y asimetría positivas (Tabla 12). El valor menor de turbidez fue de 0,05 FTU, siendo el valor mayor de 23 FTU y la media de 4,63 FTU (Tabla 12, Figura 61).

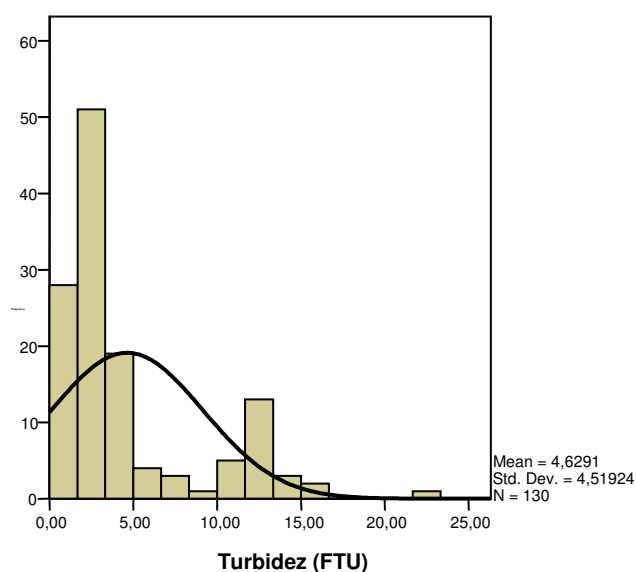


Figura 61. Distribución de frecuencias de turbidez (FTU)

Se han representado las variaciones de turbidez con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 62 a 65).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) se observa como los valores de turbidez se encuentran por debajo de 5 FTU, excepto en el 2º muestreo en el punto 4 donde los valores son elevados (13 FTU) hasta 5 m de profundidad donde tiene lugar un descenso brusco. Es el 4º muestreo el que presenta los valores más bajos (1-4 FTU) (Figura 62).

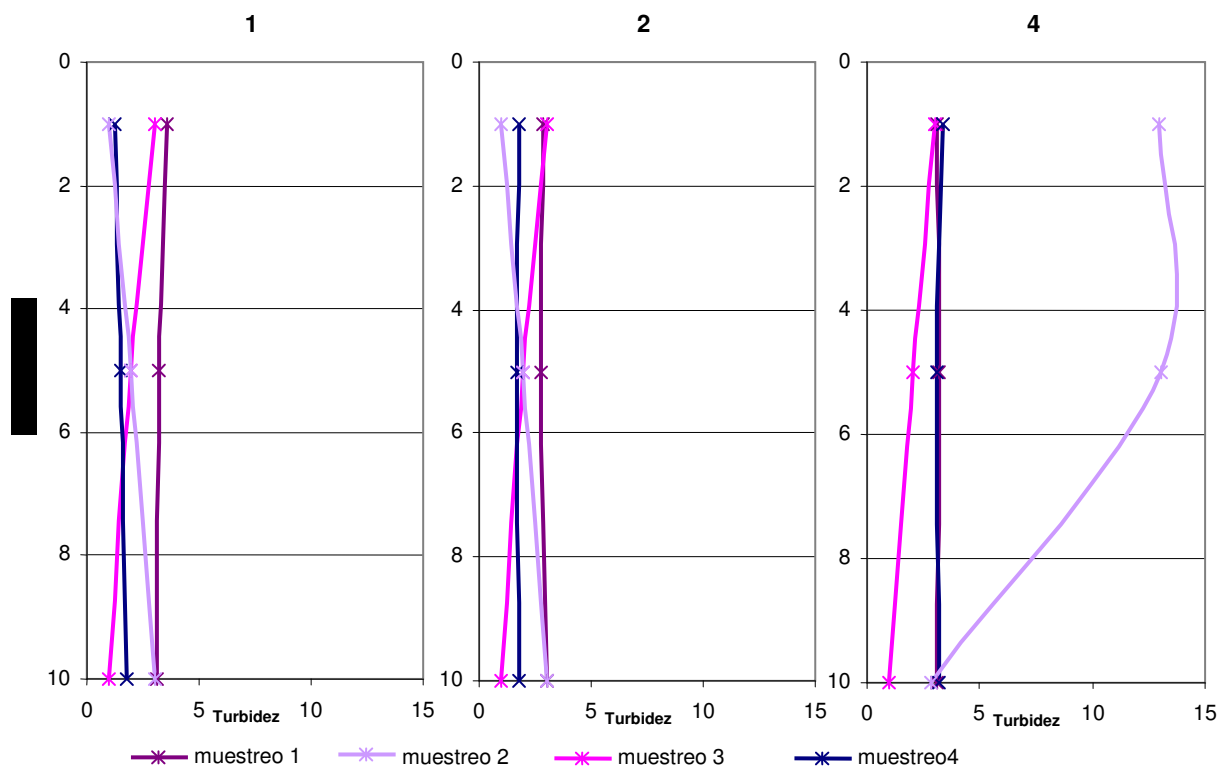
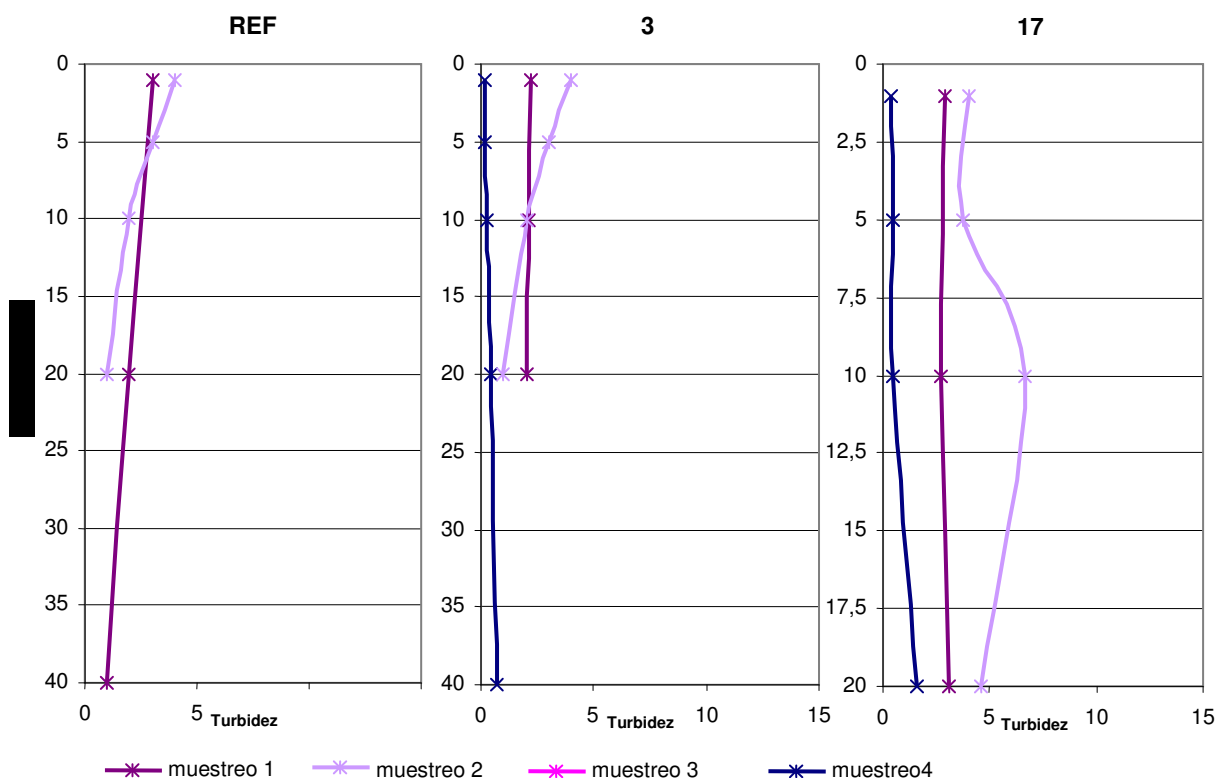


Figura 62. Distribución de la turbidez (FTU) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo.

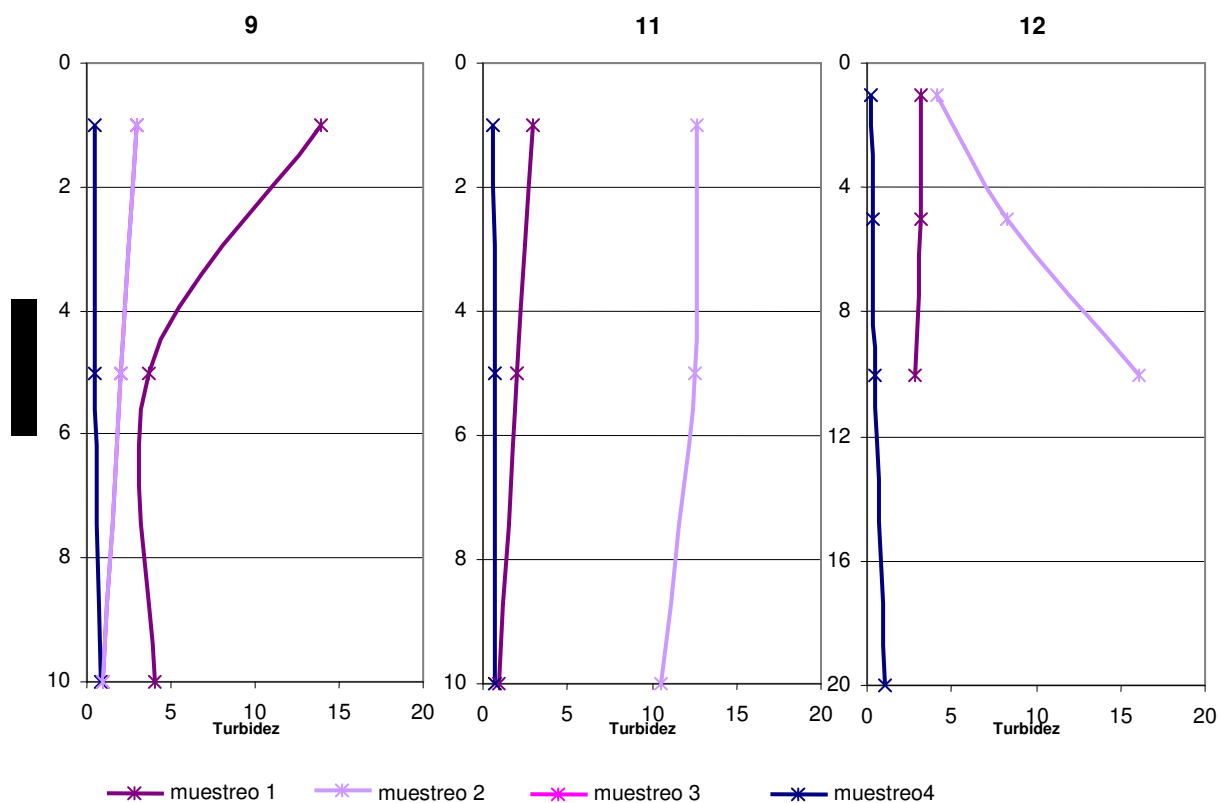
En la **zona exterior** (Masa 2) el 4º muestreo presenta los valores menores de turbidez (0-1 FTU). En general los valores son menores de 5 FTU, destacando el punto 3 donde se observa una tendencia general a disminuir la turbidez con la profundidad. Destaca el 2º muestreo en el punto 17 donde entre 5 y 10 m tiene lugar un importante aumento de turbidez (>5 FTU) para disminuir de nuevo hasta 20 m de profundidad (Figura 63).



*La escala vertical del punto 17 está duplicada.

Figura 63. Distribución de la turbidez (FTU) con la profundidad en zona exterior (Masa 2) para cada muestreo.

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) es también el 4º muestreo el que presenta valores menores y el 2º mayores (>10 FTU), excepto en el punto 9 donde es el 1º muestreo el que presenta valores más altos en superficie. cabe destacar que es en esta dársena donde se estaban llevando a cabo labores de dragado en el entorno del punto 12 durante el 2º muestreo y a ello puede deberse ese brusco aumento de turbidez 10 m en dicho punto, así como en el perfil completo en el punto 11 (Figura 64).

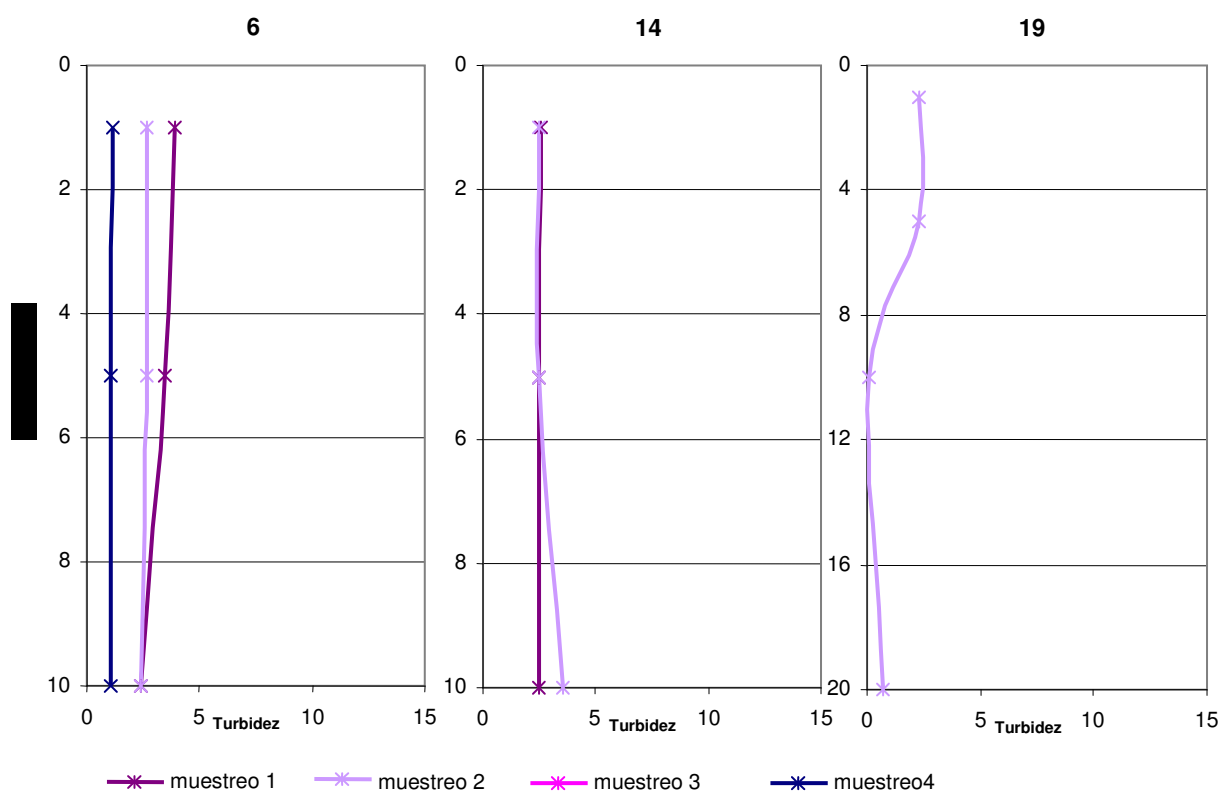


*La escala vertical del punto 12 reducida a la mitad

Figura 64. Distribución de la turbidez (FTU) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo.

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas es esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

En esta zona es también el 4º muestreo el que presenta valores menores ($<2,5$ FTU). Al igual que en las otras masas de agua los valores de turbidez son menores de 5 FTU, destacando el 2º muestreo en el punto 19 donde se aprecia un brusco descenso de turbidez entre 5 y 10 m de profundidad (Figura 65).



*La escala vertical del punto 19 reducida a la mitad

Figura 65. Distribución de la turbidez (FTU) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

En general los valores de turbidez son inferiores a 5 FTU, aunque en la dársena de Escombreras, y posiblemente debido a operaciones de dragado, el punto 12 presenta valores elevados a 10 m, valores que aparecen también en el punto 11 afectando al perfil al completo, de superficie a 10 m (Figura 64).

La distribución espacial de turbidez se ha representado por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 9 a 11, Anexo III).

En la distribución espacial de la turbidez los valores más altos aparecen en el 1º muestreo en la dársena de Escombreras y en el 4º muestreo en la de Cartagena (Figuras 9 a 11, Anexo III). Así mismo se pone de relieve la incidencia de las labores de dragado en la dársena de Escombreras, en los muestreos 1º y 2º es la zona con valores más elevados, mientras que en el 4º muestreo, ya terminadas las labores, los valores descienden.

Es el 2º muestreo el que presenta una mayor variabilidad en todas las profundidades apareciendo los valores menores en la zona exterior y de transición y los mayores en la dársena de Escombreras.

Son las profundidades de 5 a 10 m las que alcanzan los valores más extremos, esto relacionado con los eventos de dragado podría indicar la existencia de una capa entre 5 y 10 m de oscilaciones, que también aparecen en los valores de salinidad, para luego producirse una estratificación a mayor profundidad (Figura 10, Anexo III).

Se aprecia cierta similitud entre las tendencias de turbidez y salinidad, especialmente en las Masas 2 y 4 (Figuras 57, 58, 63 y 65)

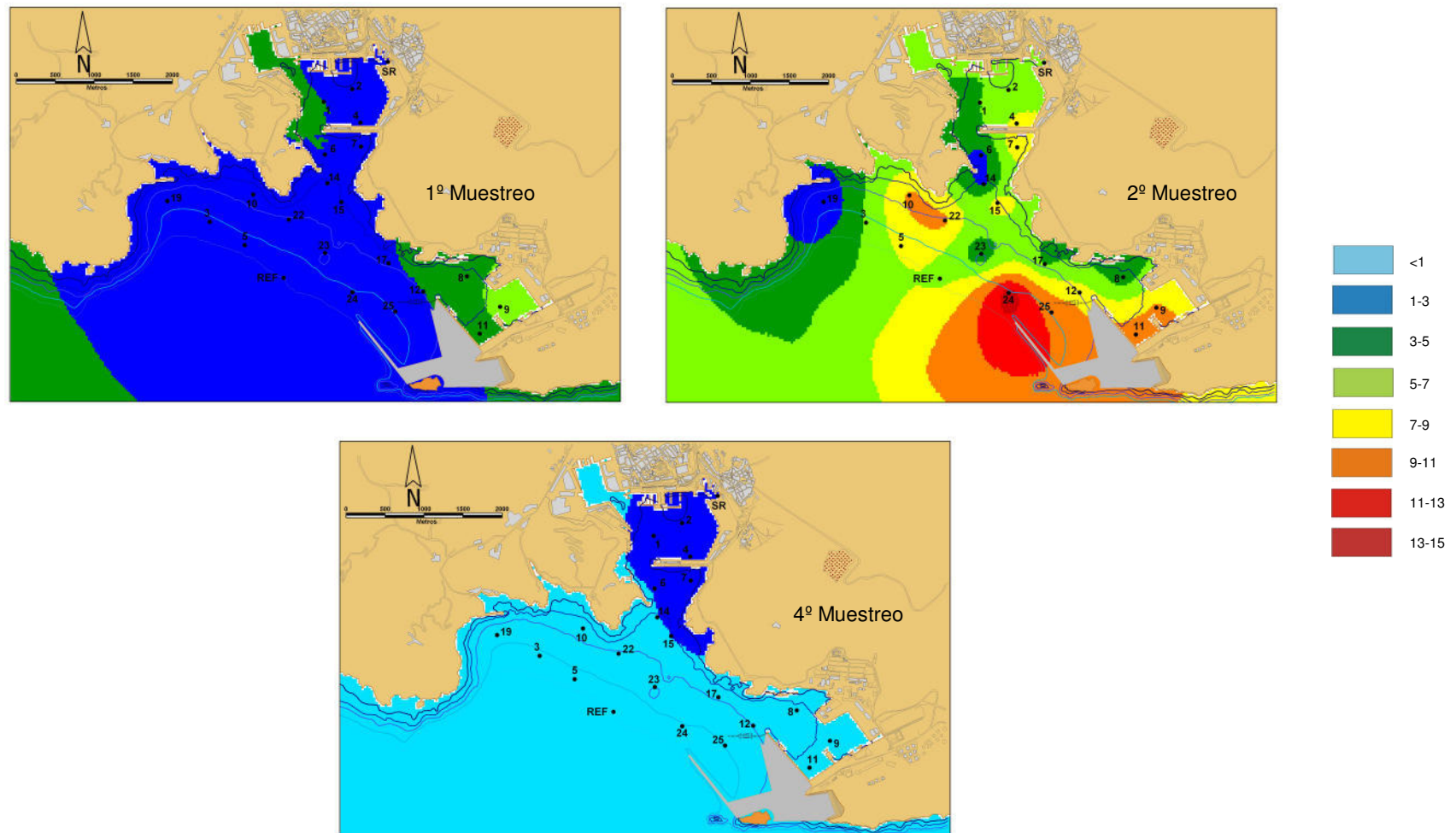


Figura 66. Distribución espacial de turbidez (FTU) en función de los valores medios de cada punto de muestreo

- Clorofila A

La clorofila A presenta, al igual que la turbidez, una distribución de frecuencias de tipo *chi cuadrado*, con curtosis positiva y asimetría negativa (Tabla 12), la mayor frecuencia aparece asociada a los valores menores (0-6 $\mu\text{g/l}$), siendo la media de 3,71 $\mu\text{g/l}$ (Figura 67).

La concentración de clorofila A está relacionada con la existencia de fitoplacton y por lo tanto con sus variaciones estacionales en función de la temperatura, la turbidez y la disponibilidad de nutrientes (Ministerio de Medio Ambiente, 1996), en este sentido la distribución de frecuencias de clorofila A (Figura 67) se relaciona con la distribución de frecuencias de turbidez (Figura 61) ambas de tipo *chi cuadrado* con asimetría negativa.

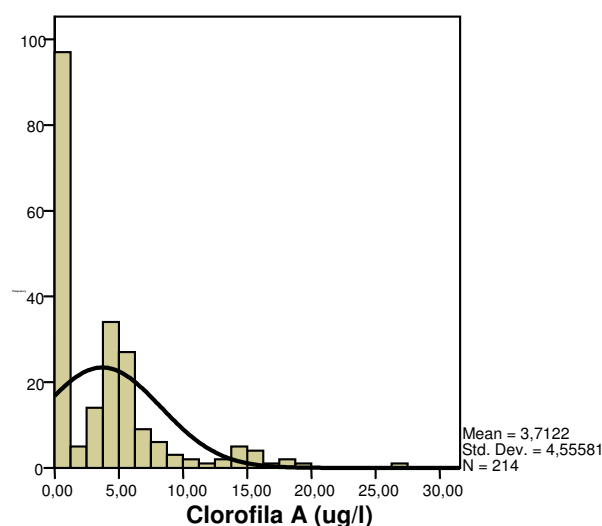


Figura 67. Distribución de frecuencias de clorofila A

Se han representado las variaciones de clorofila A con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 68 a 71).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) son los muestreos 1º y 2º los que presentan valores mayores que los muestreos 3º y 4º. Se aprecia en los dos primeros muestreos una tendencia a disminuir los valores a partir de 5 m de profundidad. En general los valores de clorofila A son menores de 10 µg/l , excepto en el caso del 2º muestreo en el punto 4 donde se observa un brusco aumento a 5 m que disminuye a 10 m de profundidad pero sin alcanzar los valores de los otros muestreos (Figura 68). Cabe destacar que este pico en el punto 4 coincide con el aumento de turbidez en el mismo punto y muestreo (Figura 62).

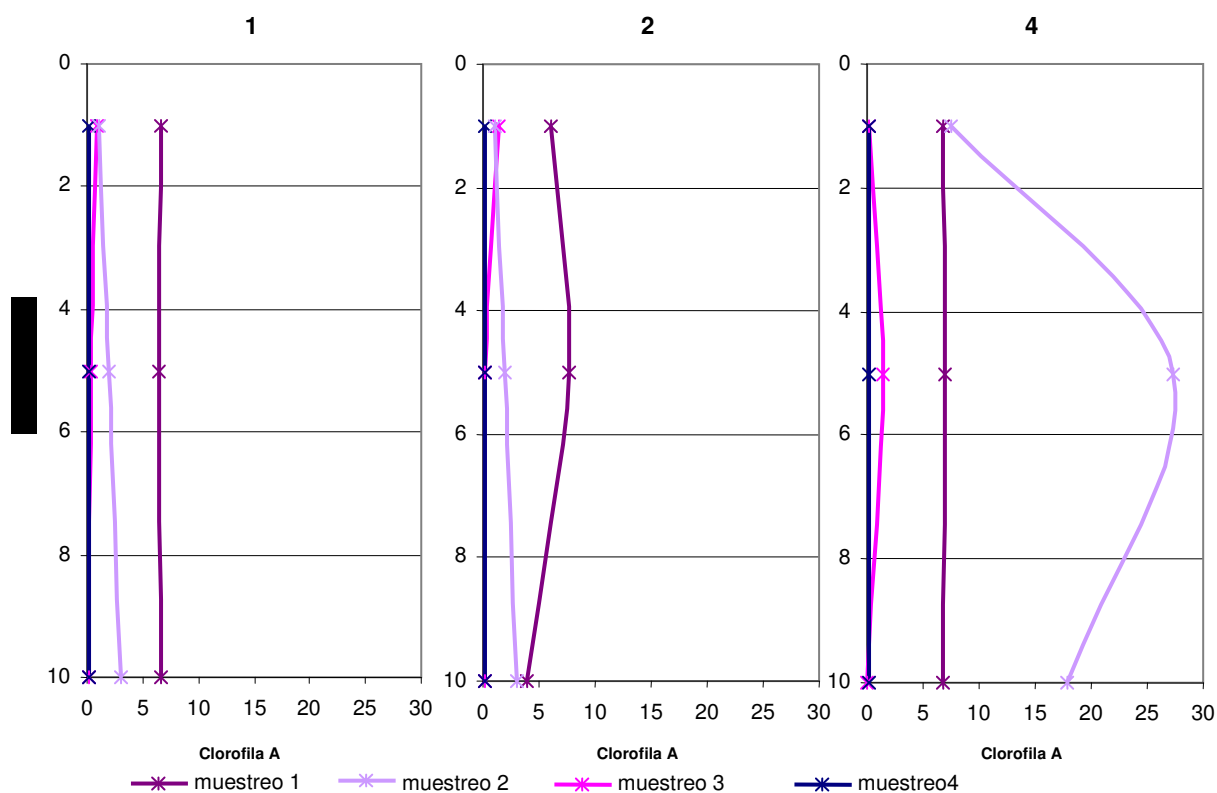
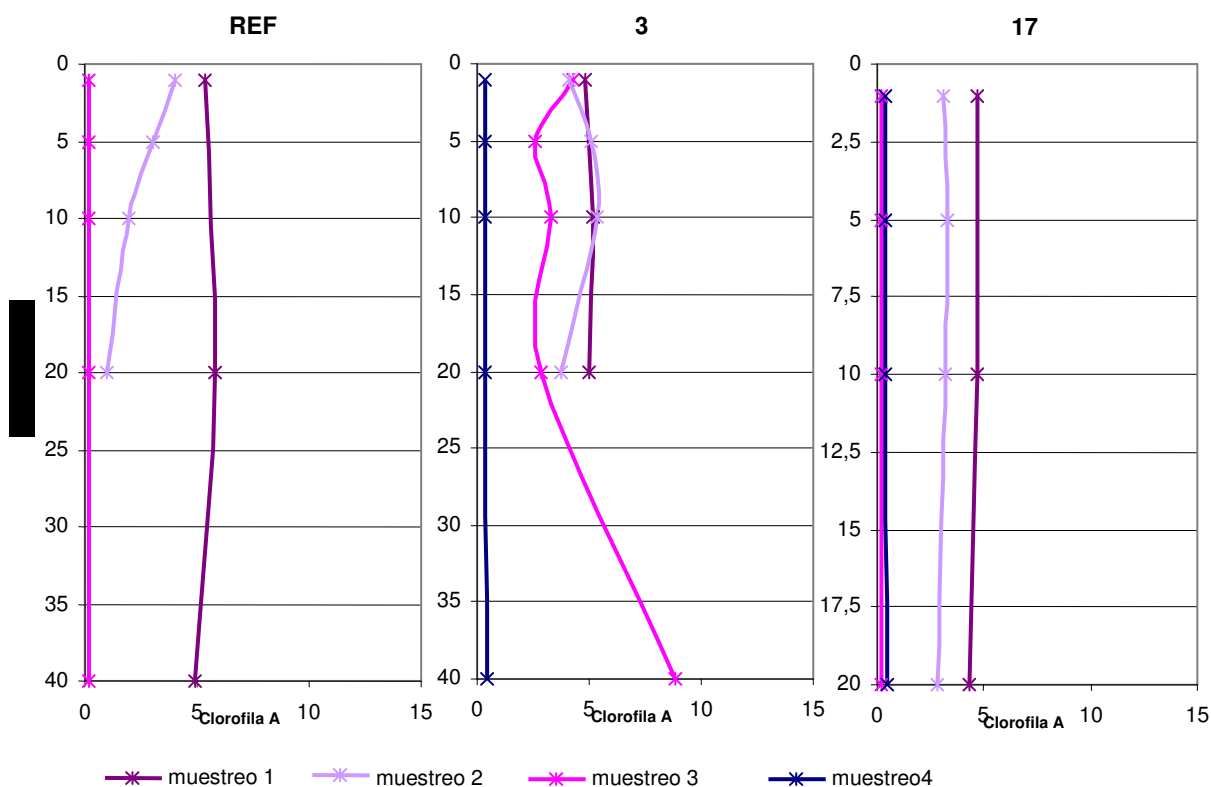


Figura 68. Distribución de clorofila A (µg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo.

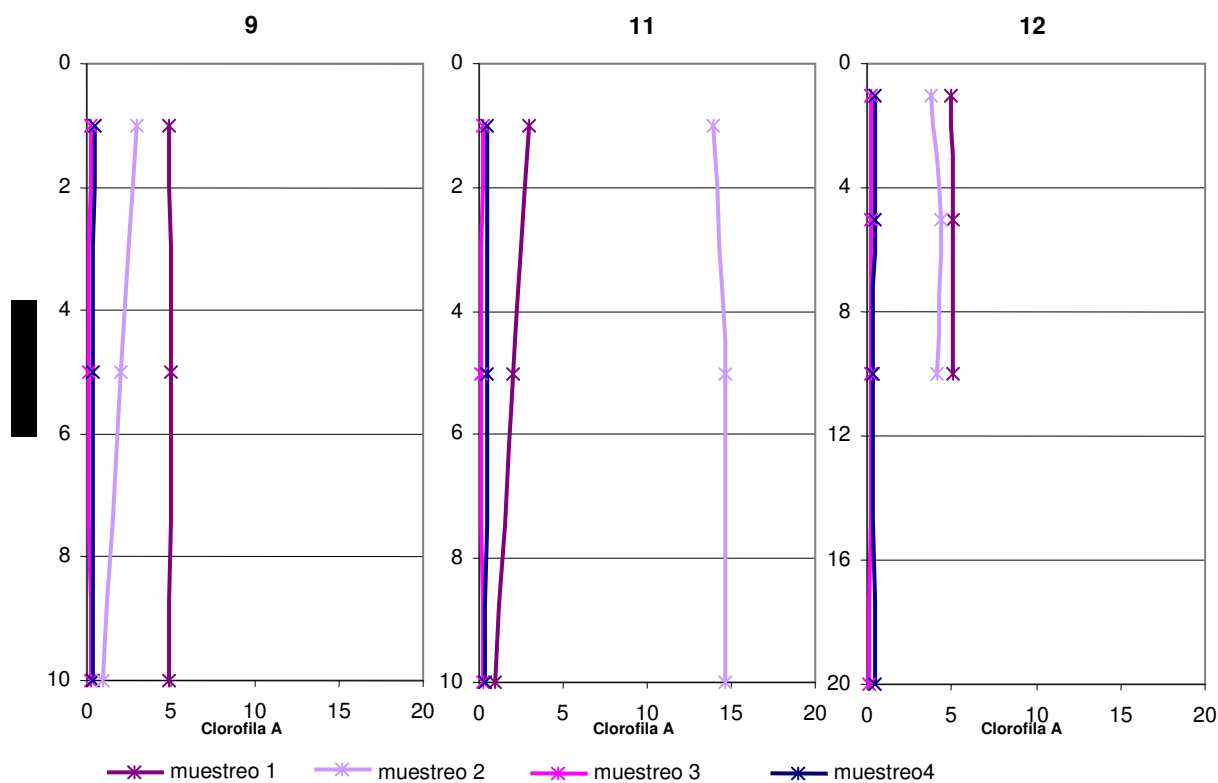
En la **zona exterior** (Masa 2) son los muestreos 3º y 4º los que tienen valores menores ($0 \mu\text{g/l}$) y los muestreos 1º y 2º presentan valores en el entorno a $5 \mu\text{g/l}$ (Figura 69). En general los valores tienden a disminuir o mantenerse constantes con la profundidad. Es de destacar el punto 3 donde el 3º muestreo aumenta las concentraciones de clorofila A en profundidad llegando a 40 m a valores próximos a $10 \mu\text{g/l}$ (Figura 69).



*La escala vertical del punto 17 está duplicada.

Figura 69. Distribución de clorofila A ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo.

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) de nuevo son los muestreos 3º y 4º los que presentan valores menores o nulos. El punto 11 presenta valores muy elevados en el 2º muestreo en todas las profundidades (15 µg/l) (Figura 70), coincidiendo con los valores de turbidez de este punto en el mismo muestreo (Figura 64).

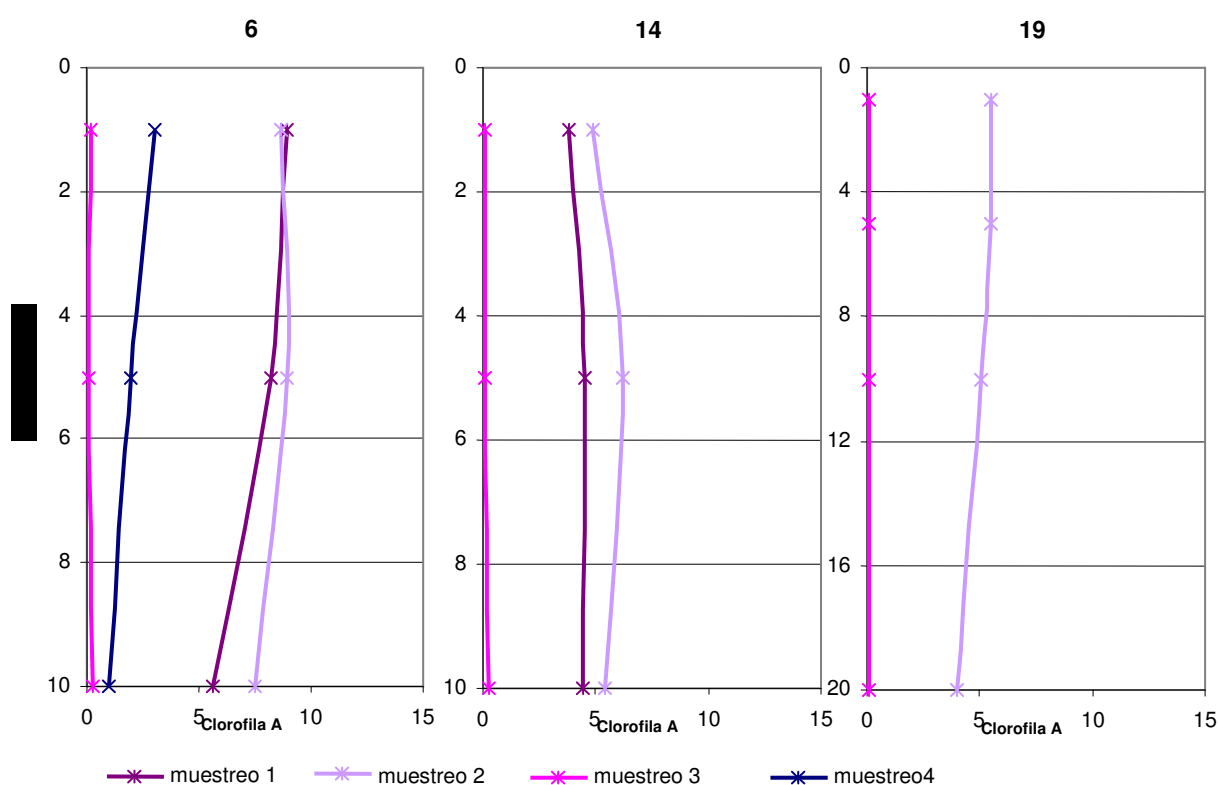


*La escala vertical del punto 12 está representada a la mitad

Figura 70. Distribución de clorofila A (µg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo.

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas es esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

En esta zona es también el 3º y 4º muestreo el que presenta valores menores ($<2,5 \mu\text{g/l}$) y el 1º y 2º muestreos los que tienen valores mayores (Figura 71). En general en esta zona la tendencia es a disminuir las concentraciones de clorofila A con la profundidad, apareciendo los valores más altos en el punto 6, 1º y 2º muestreo ($>5 \mu\text{g/l}$) (Figura 71).



*La escala vertical del punto 19 está representada a la mitad

Figura 71. Distribución de clorofila A con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

En general los valores tienden a permanecer constantes con la profundidad o descender ligeramente. Los muestreos 1º y 2º tienen valores mayores que 3º y 4º, esta tendencia coincide con la ya observada en relación con los valores de turbidez, esta coincidencia es notable en la dársena de Cartagena (Masa 1) (Figuras 63 y 68)

La distribución espacial de clorofila A se ha representado como valores medios para cada muestreo (Figura 72) ya que las variaciones en profundidad son pequeñas, a excepción del caso del 2º muestreo (Figura 12, Anexo III). La distribución espacial muestra como los valores mayores aparecen en las dársenas de Cartagena y Escombreras, para el 1º y 2º muestreo, en este último muestreo aparecen también valores altos de clorofila A en la zona de transición.

Los valores descienden en el 3º muestreo y los máximos se desplazan en este periodo hacia la zona exterior. El 4º muestreo presenta los valores menores y muy homogéneos en toda el área de estudio (Figura 72).

De nuevo es el 2º muestreo el que presenta mayor variabilidad en las concentraciones de clorofila A (Figura 72) al igual que en el caso de los valores de pH (Figura 42) y turbidez (Figura 10, Anexo III).

En el 2º muestreo, en superficie, los valores máximos aparecen en el interior de las dos dársenas y en la zona de transición, a 5 m los máximos aparecen en el interior de la dársena de Escombreras, la zona de transición y la zona más próxima a la dársena de Escombreras de la zona exterior. A la profundidad de 10 m los valores máximos se restringen al entorno próximo a la Algameca (punto 19) y el interior de la dársena de Escombreras (puntos 9 y 11). A 20 m de profundidad el máximo aparece en la zona exterior (Figura 12, Anexo III).

El hecho de que los valores máximos de clorofila A coincidan con los mínimos de pH (2º muestreo), y los mínimos de clorofila A con los máximos de pH (4º muestreo) implica cierta relación. Posiblemente debido al consumo de CO₂ por el fitoplacton lo cual hace disminuir los valores de pH (Millero, 2006).

La comparación de las distribuciones espaciales de clorofila A y turbidez, para el 2º muestreo, en superficie y a 5 m de profundidad son similares (Figuras 10 y 12, Anexo III), lo cual no ocurre en profundidades mayores, esto parece indicar que la turbidez superficial puede ser debida a las elevadas concentraciones de fitoplacton ya que los valores máximos de turbidez aparecen a 10 m de profundidad en la zona exterior de la dársena de Escombreras coincidiendo con las labores de dragado.

En el 4º muestreo la turbidez disminuye en todo el área de estudio e igualmente las concentraciones de clorofila A.

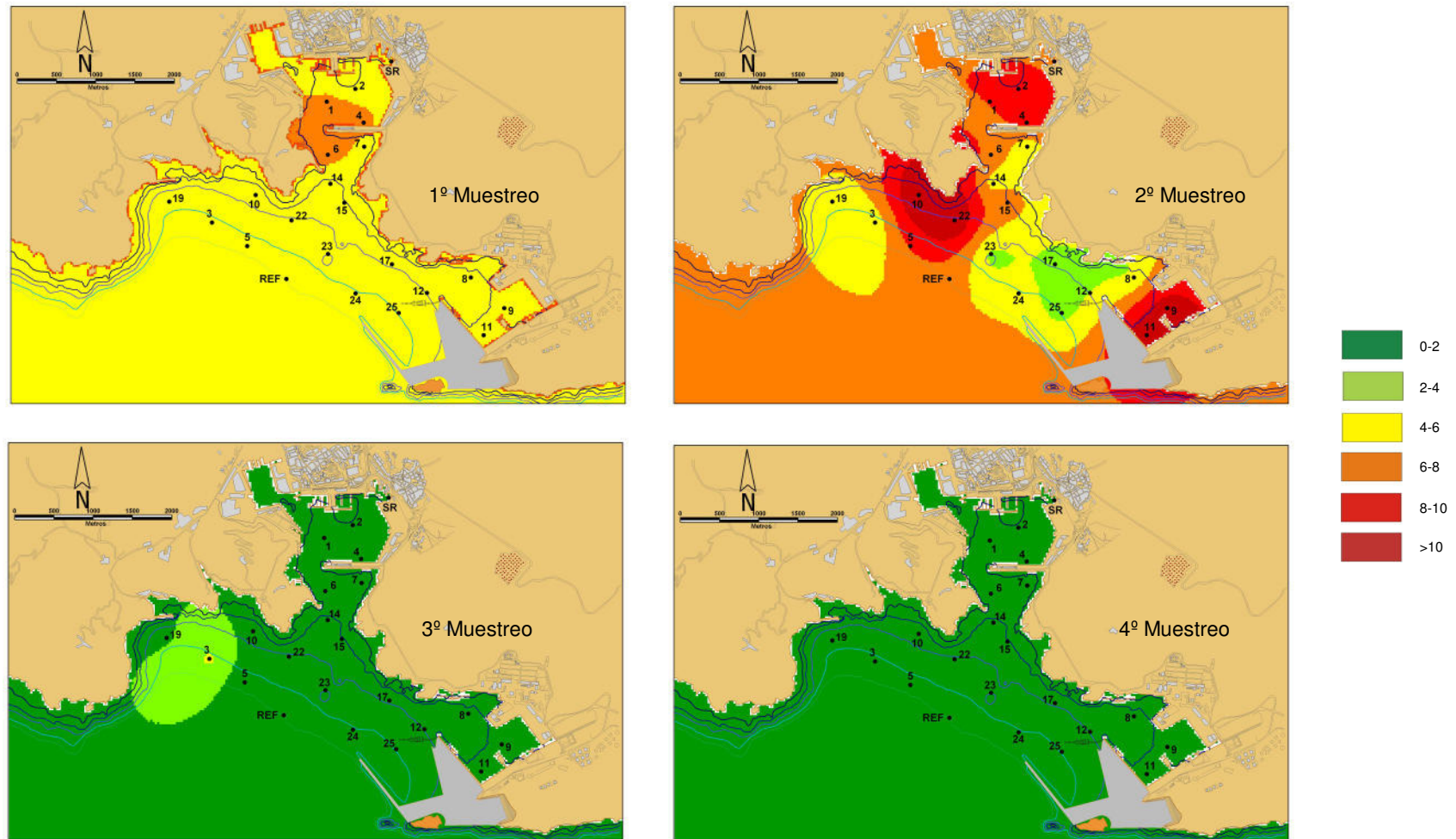


Figura 72. Distribución espacial de Clorofila A ($\mu\text{g/l}$) en base a los valores medios de cada punto de muestreo

- **Potencial Redox**

El potencial Redox presenta una distribución normal de frecuencias, curtosis positiva y asimetría negativa (Tabla 12). Los valores son siempre positivos variando entre 48,8 y 223 mV, siendo la media de 128 mV (Tabla 11, Figura 73). Este valor medio coincide con los valores recogidos en las campañas de toma de muestras para el control del efluente de la empresa IZAR donde los valores de potencial Redox son en todos los casos positivos y se encuentran entre 120 y 135 mV (IZAR Construcciones Navales, S.A., 2004).

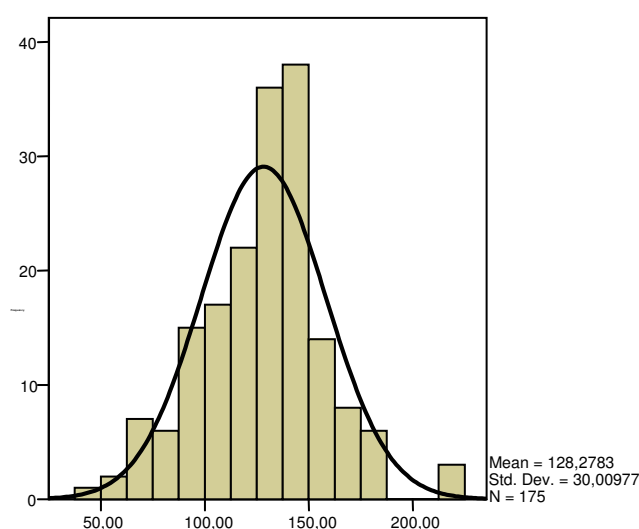


Figura 73. Distribución de frecuencias de valores de potencial Redox (mV)

Se han representado las variaciones de potencial Redox con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 74 a 77).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) se detectó un mal funcionamiento del electrodo Redox durante el 2º muestreo por lo que se eliminaron los datos correspondientes (Tabla 2, Anexo II). En esta zona se observan tendencias similares para todos los muestreos en los diferentes puntos, así en el 1º muestreo los valores de potencial Redox tienden a disminuir ligeramente con la profundidad, mientras que en el 3º y 4º muestreo se mantienen prácticamente constantes (Figura 74).

Los valores se mantienen entre 100 y 150 mV en todos los puntos y profundidades (Figura 74).

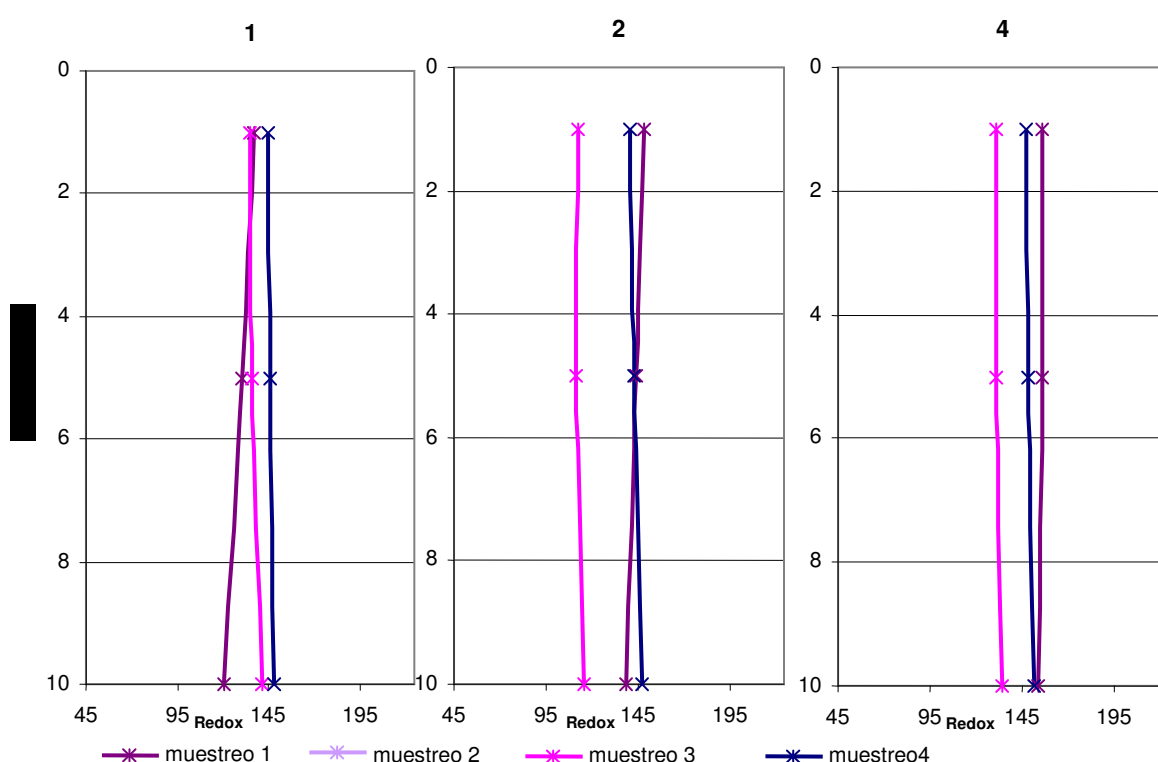
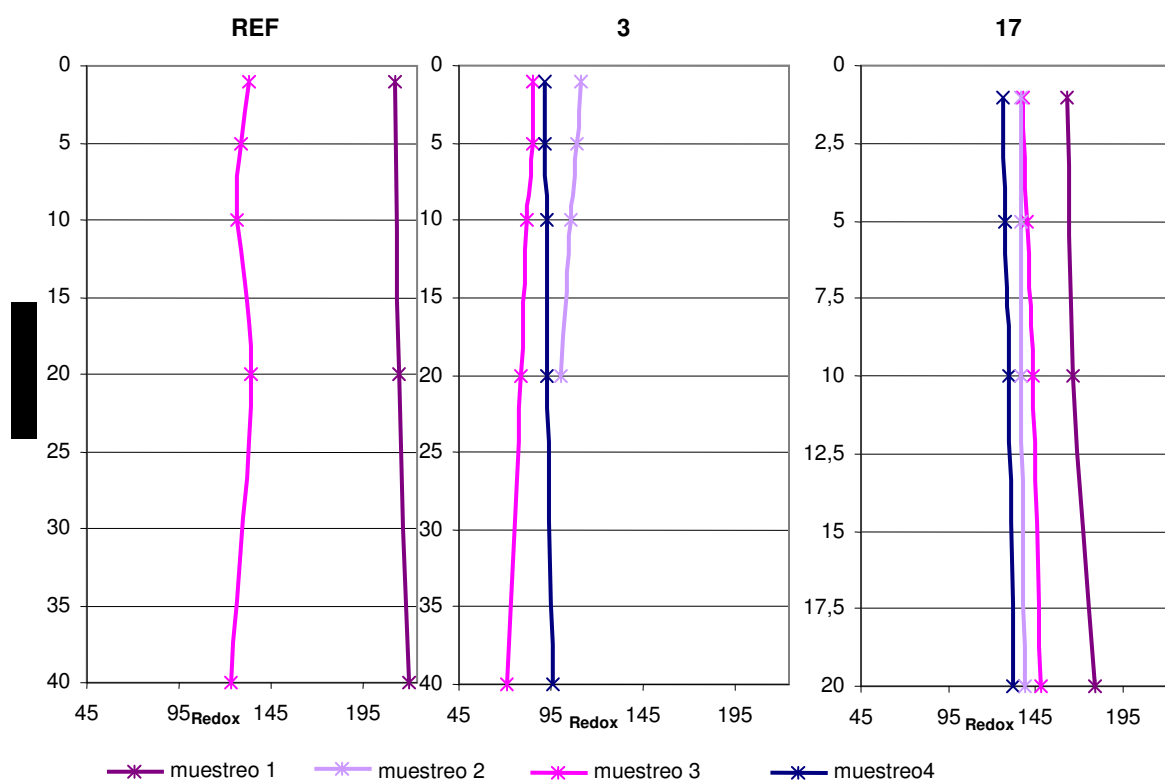


Figura 74. Distribución de potencial Redox (mV) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo.

En la **zona exterior** (Masa 2) debido a las condiciones de mar de fondo a partir de 20 m de profundidad en el punto REF en el 2º muestreo y en el punto 3 en el 1º muestreo los datos obtenidos no fueron homogéneos para cada profundidad, por lo que se desestimaron (Tablas 1 y 2, Anexo II). Los valores mayores se recogen en el 1º muestreo (165-220 mV) (Figura 75).

En el 1º muestreo la tendencia es a un leve aumento del potencial Redox con la profundidad. En el 2º muestreo la tendencia es a disminuir con la profundidad. El 3º muestreo en los puntos REF y 3 el potencial Redox disminuye entre superficie y 5 m, aumenta ligeramente entre 5 y 10 m, para disminuir de 20 a 40 m de profundidad. En el punto 17 el 3º muestreo presenta un pequeño aumento de potencial Redox de superficie a 20 m. El 4º muestreo presenta un aumento de superficie a 20 m de profundidad (Figura 75).

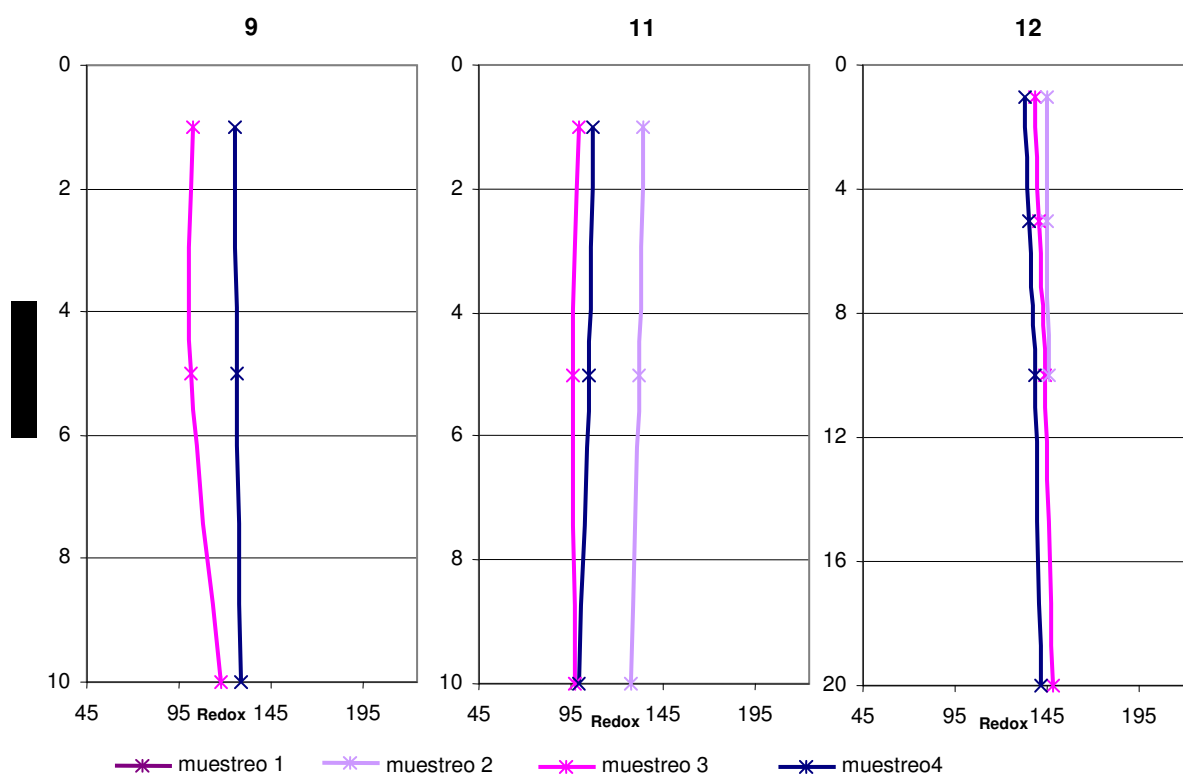


*La escala vertical del punto 17 está duplicada.

Figura 75. Distribución de potencial Redox (mV) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo.

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) se detectó un mal funcionamiento del electrodo Redox durante el 1º muestreo por lo que se eliminaron los datos correspondientes (Tabla 1, Anexo II). Los valores menores corresponden al 3º muestreo y los mayores al 2º, las variaciones son muy pequeñas en el punto 12, exterior de la dársena, mientras que presentan una dispersión mayor entre muestreos en los puntos interiores (puntos 9 y 11) (Figura 76).

La tendencia entre muestreos es muy similar para cada punto, así en los puntos 9 y 12 el potencial Redox tiende a un ligero aumento con la profundidad, mientras que en el punto 11 la tendencia es a un ligero descenso (Figura 76).

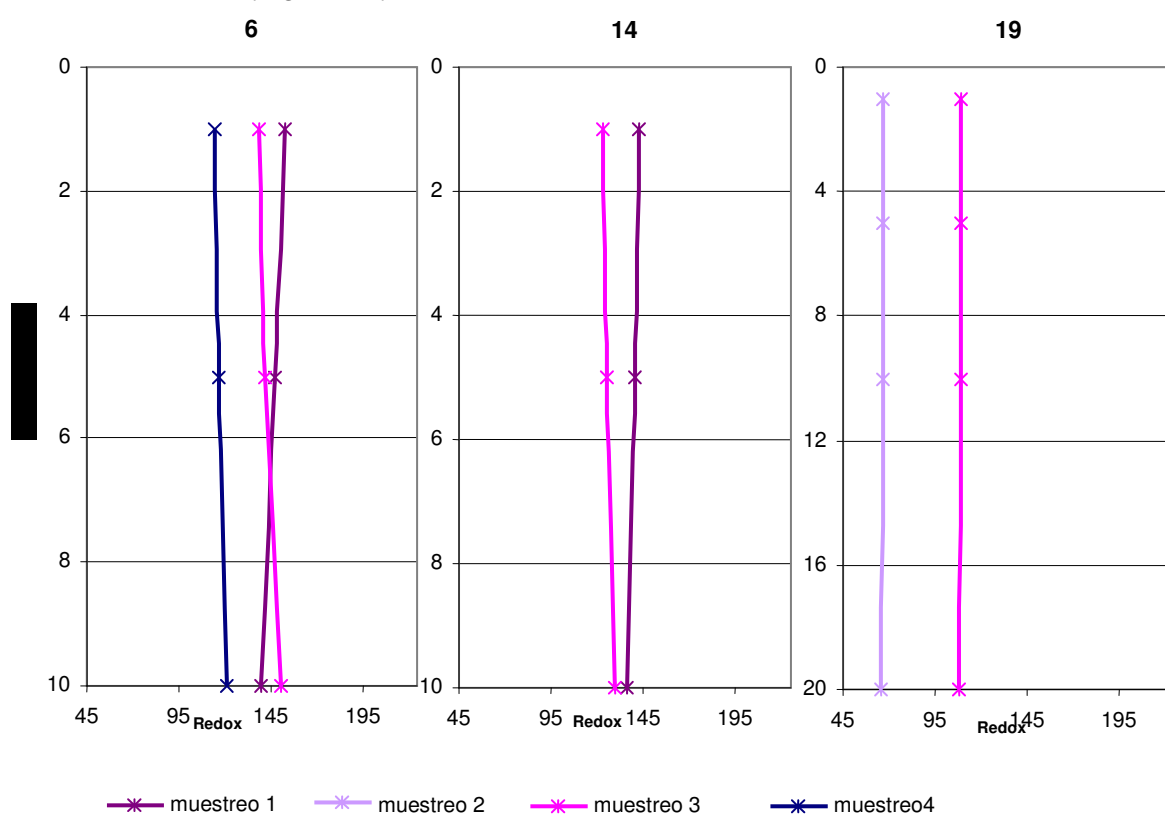


*La escala vertical del punto 12 está representada a la mitad

Figura 76. Distribución de potencial Redox (mV) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo.

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas es esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36). Se detectó un mal funcionamiento del electrodo Redox durante el 2º muestreo en los puntos 6 y 14 por lo que se eliminaron los datos correspondientes (Tabla 2, Anexo II).

En esta zona los valores de potencial Redox parecen muy constantes para cada muestreo a lo largo del perfil. En los puntos 6 y 14 se aprecia una leve tendencia a disminuir con la profundidad en el 1º muestreo y a aumentar en el 3º muestreo (Figura 77).



*La escala vertical del punto 19 está representada a la mitad

Figura 77. Distribución del potencial Redox (mV) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

La distribución espacial refleja como en el 1º muestreo los valores son superiores, situándose el área de mayor potencial Redox en la zona exterior (>175 mV), en el punto de muestreo REF (Figura 78). Esto se relaciona con la mezcla de aguas típica de invierno (1º muestreo) y el hecho de que la zona exterior presente mayores valores puede estar relacionado con aporte de aguas procedentes de mar abierto.

Los valores menores aparecen siempre en las proximidades de la Algameca (<100 mV) lo cual puede indicar una escasa renovación de las aguas en la zona o la existencia de algún tipo de vertido (Figura 78).

Analizando la distribución espacial por muestreos y profundidades (Figuras 13 a 16, Anexo III) se observa como en todos los muestreos y profundidades los valores mayores aparecen en la zona exterior próxima a la dársena de Escombreras. Esta situación se ve ligeramente alterada en el caso del 1º muestreo donde los valores mayores de potencial Redox ocupan toda la zona exterior (Masa 2) en superficie y a 10 y 20 m de profundidad, siendo a la máxima profundidad aún mayores, esto podría indicar la entrada de aguas procedentes del exterior de la bahía a través de corrientes de fondo.

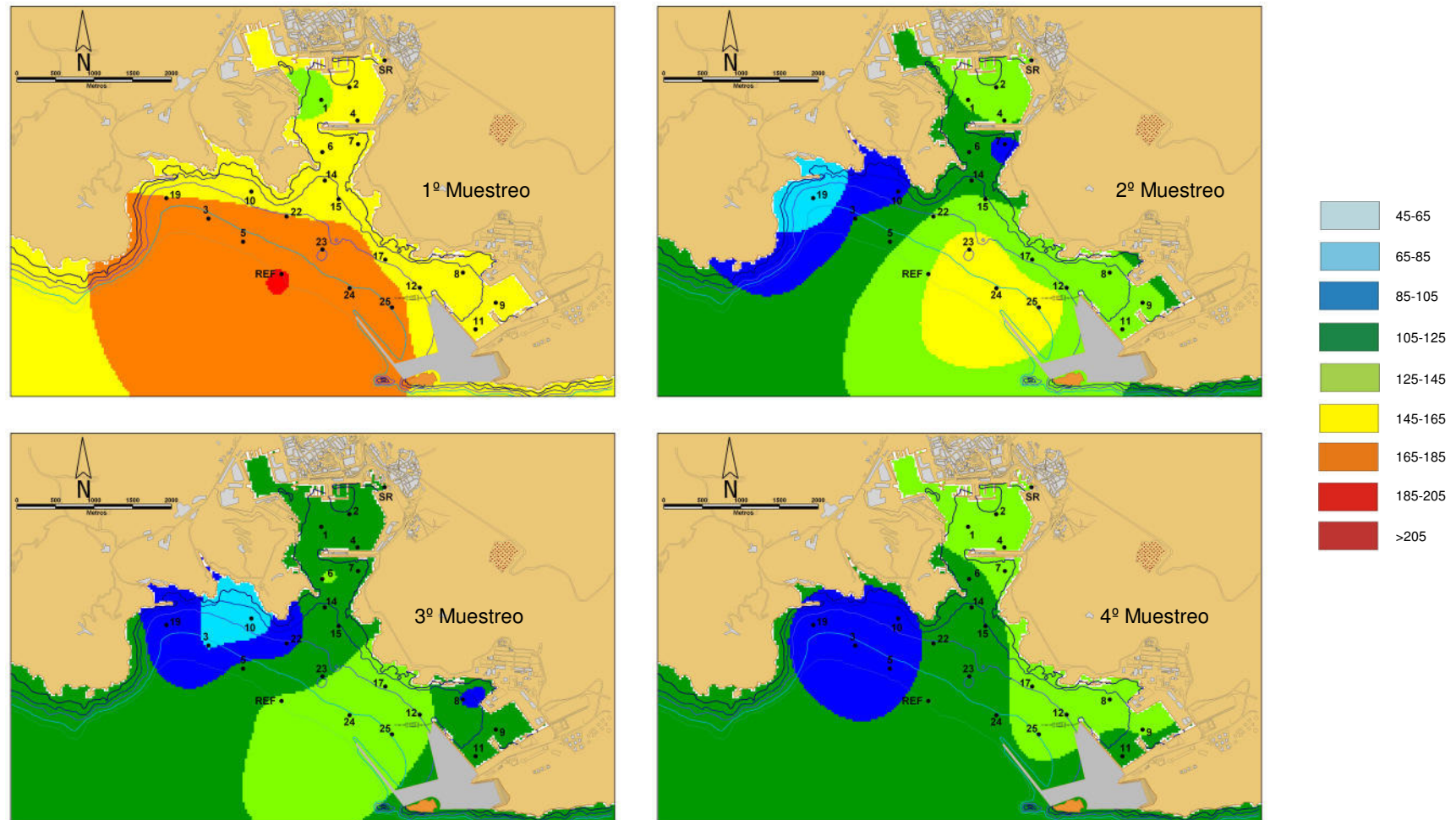


Figura 78. Distribución espacial del Potencial Redox (mV) en base a los valores medios de cada punto de muestreo

- Oxígeno Disuelto

La distribución de frecuencias para los valores de oxígeno disuelto presenta una distribución normal, curtosis y asimetría positiva (Tabla 12). El valor mínimo es de 3,20 mg/l y máximos de 14,2 mg/l (Tabla 11), siendo la media de 8,35 mg/l (Figura 79).

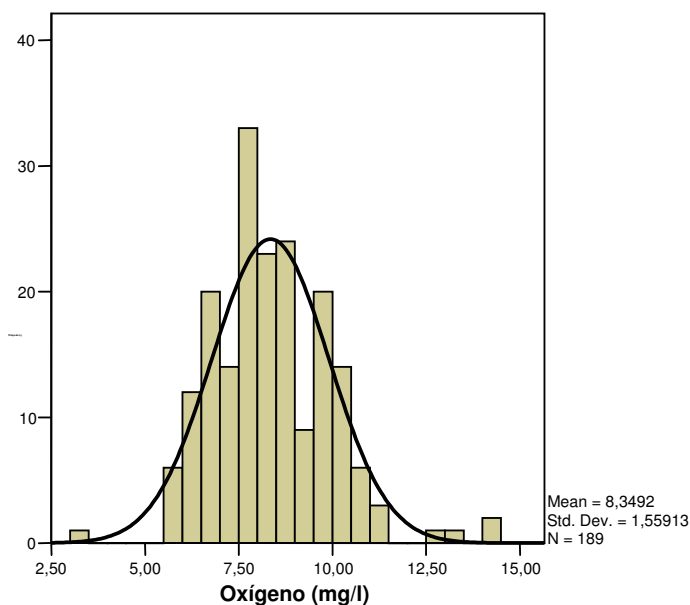


Figura 79. Distribución de frecuencias de oxígeno disuelto (mg/l)

Se han representado las variaciones de oxígeno disuelto con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 80 a 83).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) se detectó un mal funcionamiento del sensor de oxígeno disuelto durante el 2º muestreo en los puntos 1 y 2 por lo que se eliminaron los datos correspondientes (Tabla 2, Anexo II).

La tendencia general de los valores de oxígeno disuelto es a permanecer constantes con la profundidad o un leve aumento, excepto en el punto 4 donde el 1º y 4º muestreo disminuyen levemente los valores de oxígeno disuelto. En el punto 1 el 3º muestreo disminuye los valores hasta 5 m para aumentar de nuevo hasta 10 m donde alcanza los valores de superficie (Figura 80).

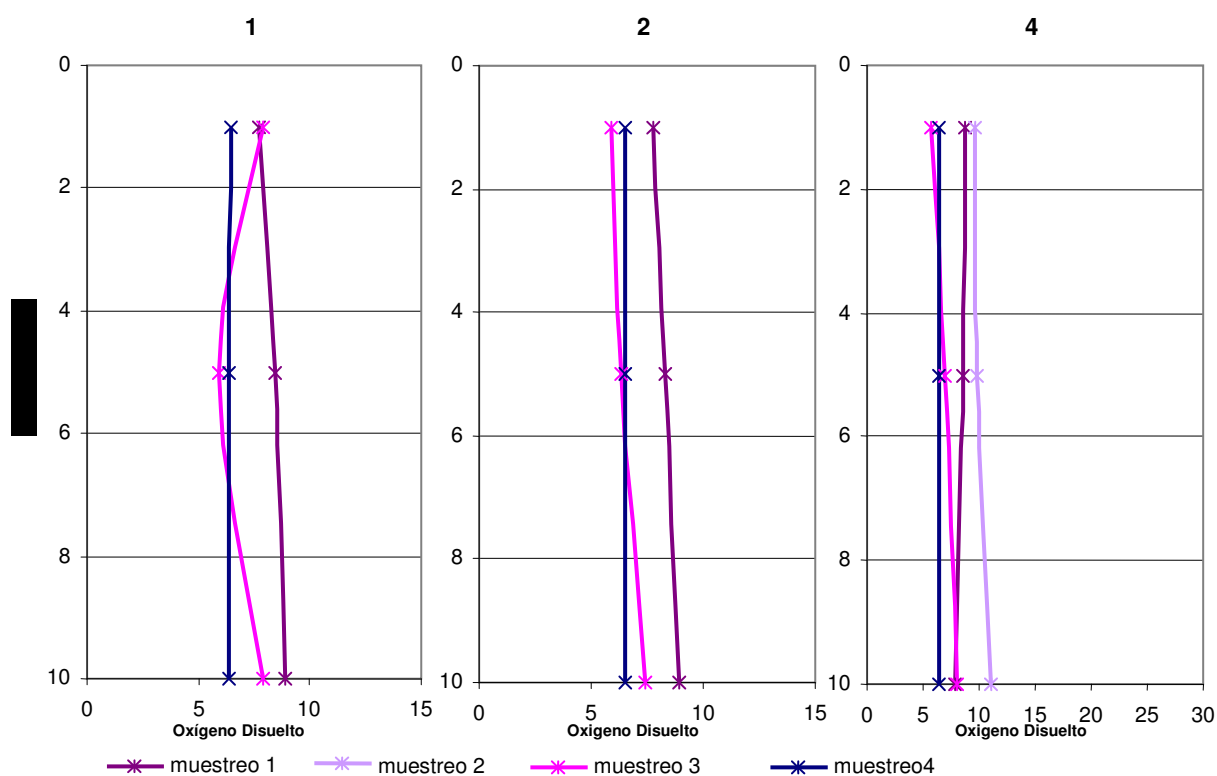
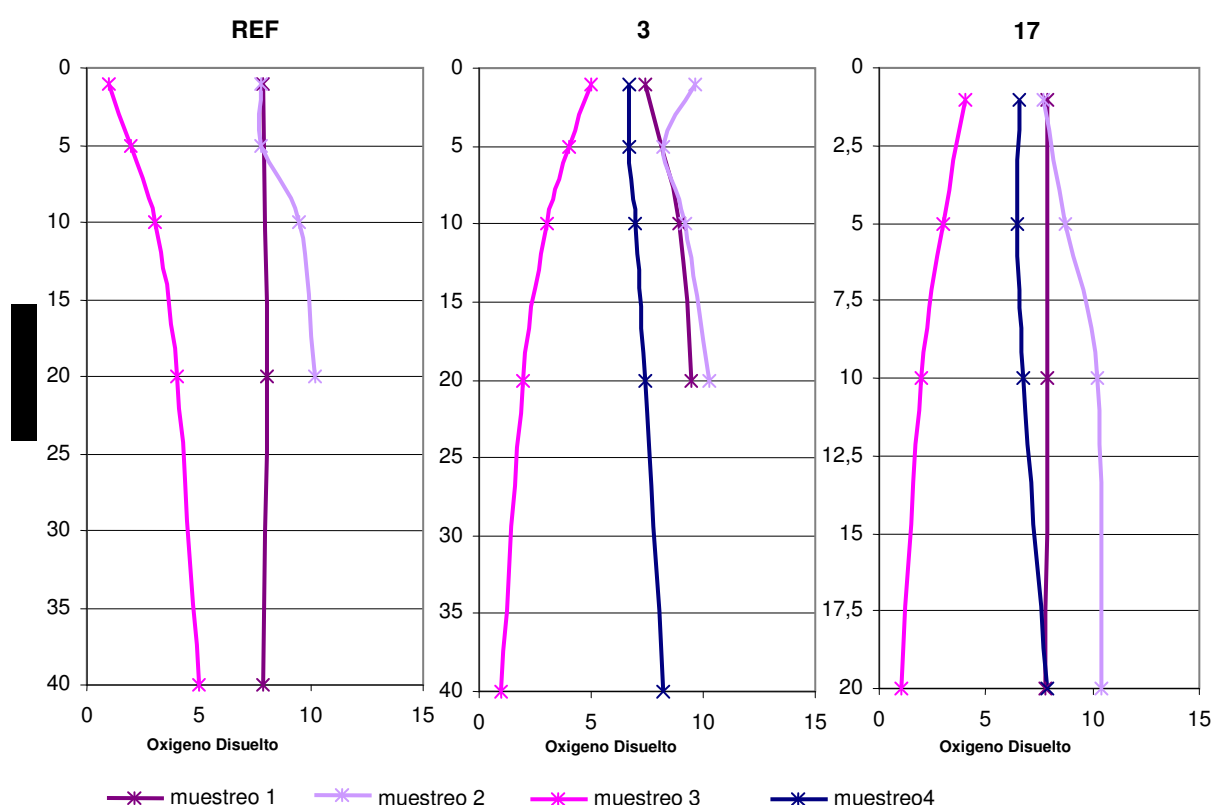


Figura 80. Distribución de oxígeno disuelto (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo.

En la **zona exterior** (Masa 2) se observa un comportamiento diferente de cada muestreo en cada punto. Siendo el 2º y 3º muestreo los que presentan mayor variabilidad. El 2º muestreo disminuye su concentración de oxígeno disuelto entre superficie y 5 m para luego aumentar hasta 20 m de profundidad en los puntos REF y 3, mientras que en el punto 17 aumenta hasta 10 m para luego permanecer prácticamente constante hasta 20 m de profundidad (Figura 81).

El 3º muestreo en el punto REF tiende a aumentar las concentraciones de oxígeno disuelto con la profundidad en todo el perfil, mientras que en los puntos 3 y 17 tiende a disminuir con la profundidad (Figura 81).



*La escala vertical del punto 17 está duplicada.

Figura 81. Distribución de oxígeno disuelto (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo.

La tendencia general es a aumentar con la profundidad, lo cual puede indicar el aporte de aguas procedentes de mar abierto en esta zona. En el 3º muestreo no existe mezcla de capas de agua debido a la termoclina existente, por ello en las muestras más próximas a tierra (puntos 3 y 17) se produce un descenso de oxígeno disuelto con la profundidad, mientras que en el punto REF, más próximo al exterior de la bahía si parece existir dicho aporte en profundidad.

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) se detectó un mal funcionamiento del sensor de oxígeno disuelto durante el 2º y 3º muestreo en el punto 9, y el 3º muestreo en el punto 11 por lo que se eliminaron los datos correspondientes (Tablas 2 y 3, Anexo II).

En esta zona es el 4º muestreo el que presenta valores más constantes a lo largo del perfil en todos los puntos, aunque en el punto 12 a partir de 10 m presenta tendencia a una disminución de los valores de oxígeno disuelto. El 1º y 2º muestreo presentan tendencia a aumentar los valores con la profundidad, aunque el 1º muestreo en el punto 11 disminuye los valores hasta 5 m para luego aumentar (Figura 82).

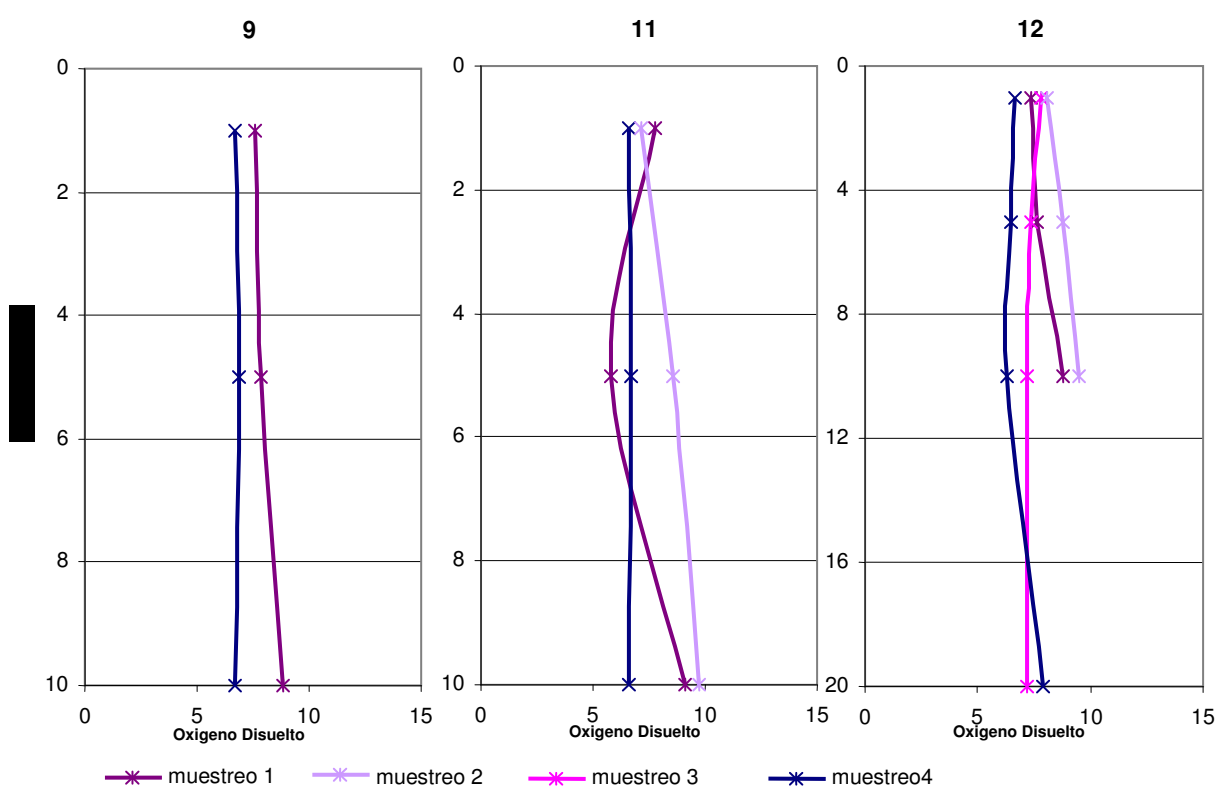
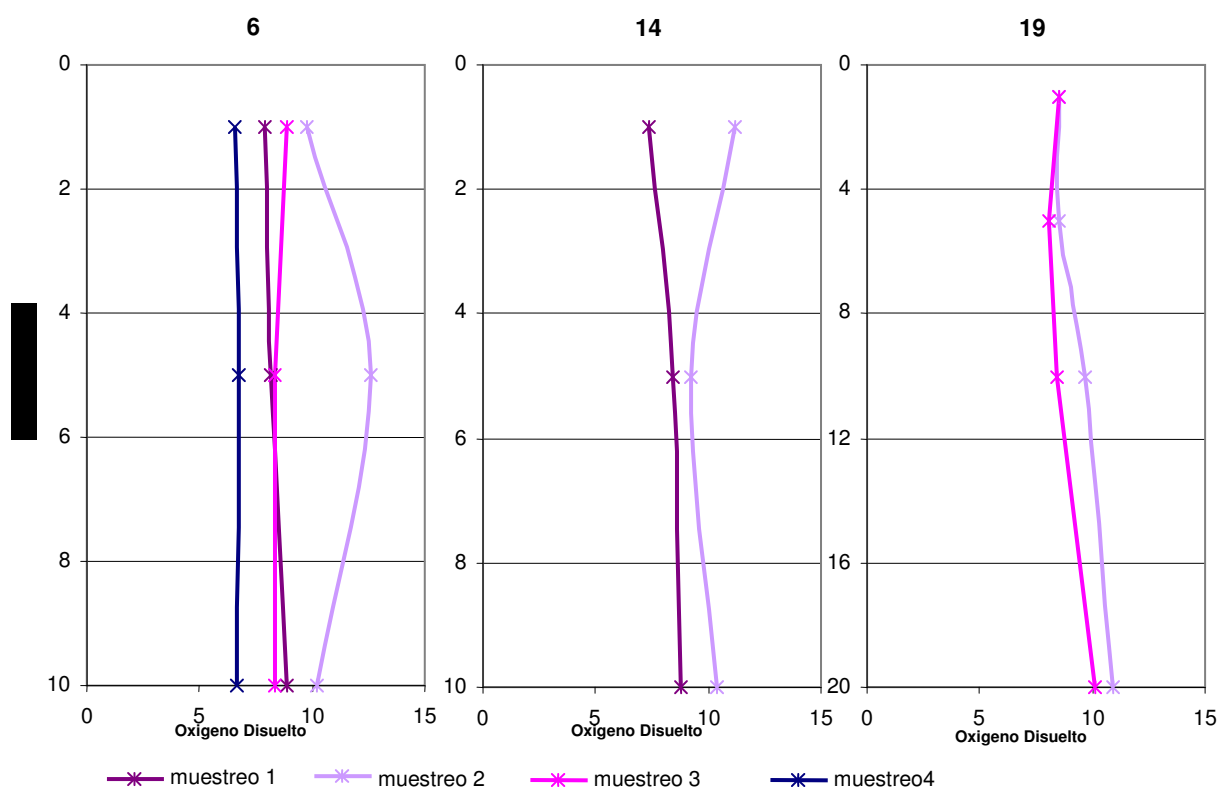


Figura 82. Distribución de oxígeno disuelto (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo.

En general parece que en esta zona los valores de oxígeno disuelto aumentan con la profundidad al igual que en el caso de la zona exterior.

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas es esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36). Se detectó un mal funcionamiento del sensor de oxígeno disuelto durante el 3º muestreo en el punto 14 por lo que se eliminaron los datos correspondientes (Tabla 3, Anexo II).

En esta zona los valores de oxígeno disuelto parecen muy constantes en el punto 6 excepto para el 2º muestreo que sufre un importante aumento de superficie a 5 m para disminuir después. El 2º muestreo es el que tiene valores mayores en todos los puntos, en los puntos 14 y 19 sufre una disminución de los valores de oxígeno disuelto entre superficie y 5 m para luego aumentar de nuevo. En el punto 6 sin embargo la tendencia es la contraria, aumentando hasta 5 m para después disminuir (Figura 83).



*La escala vertical del punto 19 está representada a la mitad

Figura 83. Distribución de oxígeno disuelto (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

En esta zona (Masa 4) también parece que la tendencia general es a mantener los valores prácticamente constantes o aumentar levemente con la profundidad, excepto en el punto 6, 2º y 3º muestreo, donde disminuyen.

Teniendo en cuenta que el punto 6 está en una zona de escasa renovación de las aguas, esto podría explicar esta tendencia.

La distribución espacial de este parámetro muestra como el 2º y 3º muestreo presentan los mayores valores y la máxima variabilidad. El 4º muestreo presenta los valores más homogéneos y menores (Figura 84).

En el 2º muestreo los valores mayores aparecen en la zona interior de Cartagena y Escombreras, siendo los valores menores representativos de la zona externa (Figura 84).

En el 3º muestreo los valores mayores aparecen en el entorno de la Algameca, en el 4º muestreo los valores son muy homogéneos y bastante bajos, entre 6,7 y 7 mg/l de oxígeno disuelto (Figura 84).

Por profundidades, la mayor variabilidad aparece en el 2º muestreo entre superficie y 5 m y en el 3º muestreo entre superficie y 10 m. Los valores mayores se obtienen en todos los muestreos a 20 m de profundidad y en el 3º a 40 m (Figuras 17 a 20, Anexo III).

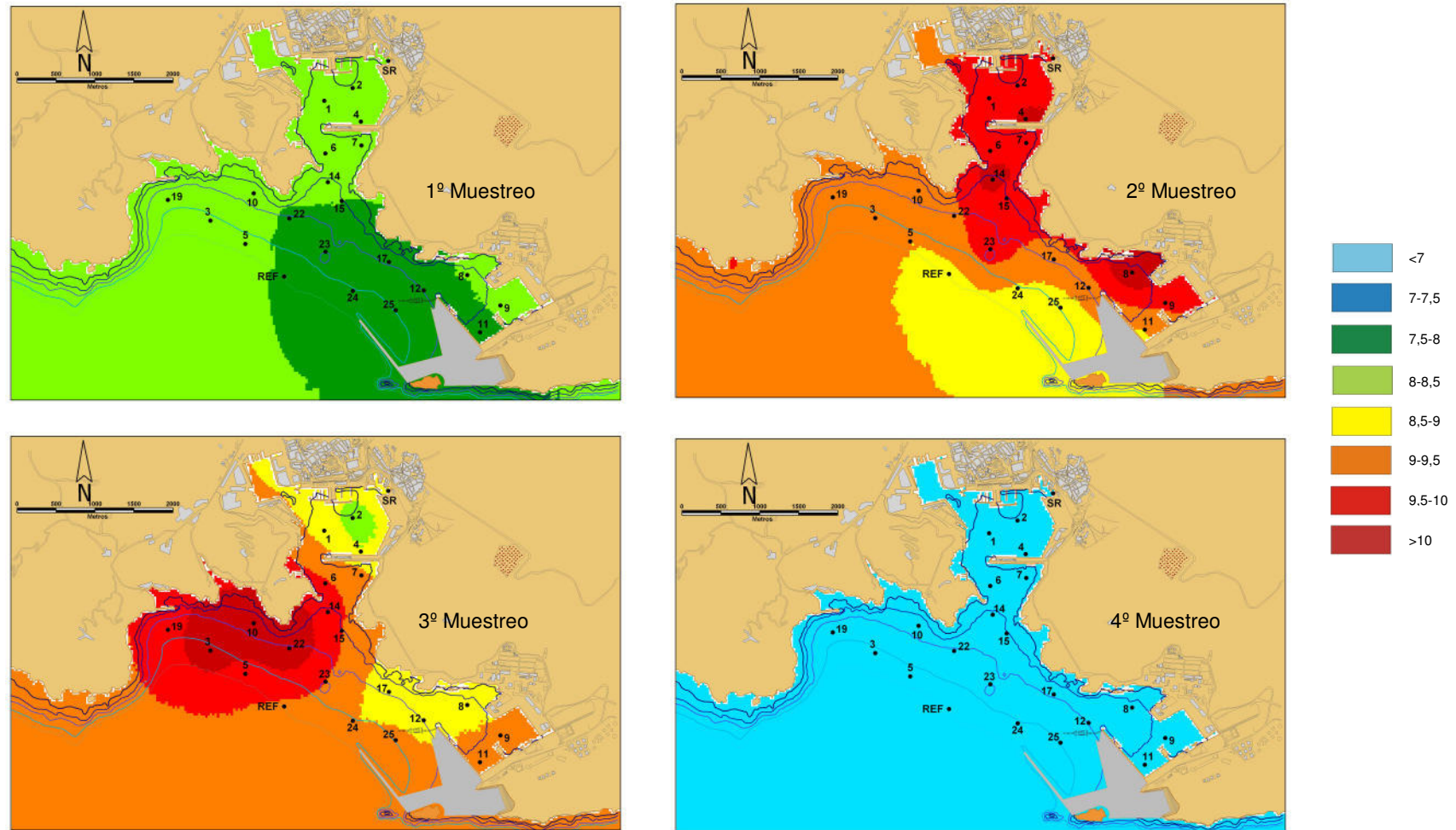


Figura 84. Distribución espacial de oxígeno disuelto (mg/l) en base a los valores medios de cada punto de muestreo

Existen ciertas relaciones entre los parámetros físico-químicos determinados “in situ”, así las variaciones estacionales de temperatura definen el comportamiento de los mismos. El aumento de la temperatura ambiente en el 3º muestreo genera la formación de una termoclina con diferente profundidad en función de la profundidad total de cada zona, así en las Masas 1, 3 y 4 la termoclina queda definida a 5 m, mientras que en la Masa 2 lo hace a partir de 10 m. La duración de esta termoclina también es diferente en función de la profundidad máxima, las Masas 1, 3 y 4 únicamente la presentan en el 3º muestreo, mientras que en la Masa 2 permanece hasta el 4º muestreo.

La temperatura está además relacionada de forma directa con la C.E. e inversa con los valores de clorofila A que presentan sus máximos en el 2º muestreo coincidiendo con las temperaturas y pH menores.

La clorofila A presenta por lo tanto una relación inversa con el pH ya que también cuando este parámetro alcanza sus valores máximos, se alcanzan los mínimos de clorofila A (4º muestreo). Así mismo tiene una relación directa con la turbidez entre superficie y 5 m, relación que desaparece a mayores profundidades.

8.4.1.2. Elementos Mayoritarios

- Carbonatos

La distribución de frecuencias de los valores de carbonatos se asemeja a una distribución normal aunque presenta curtosis negativa debido a que existe una disminución de valores entorno a la media (24,7 mg/l). El coeficiente de asimetría es positivo (Tabla 12). Los valores van desde 0 mg/l a 50,4 mg/l y la media es de 24,7 mg/l (Tabla 11, Figura 85).

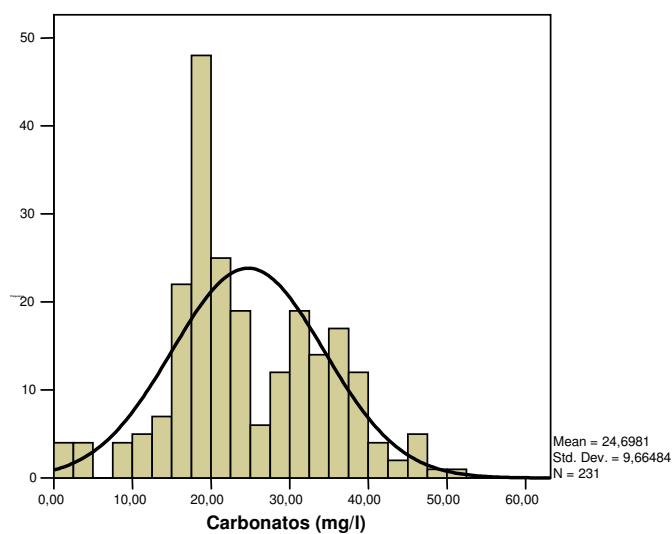


Figura 85. Distribución de frecuencias de carbonatos (mg/l)

Se han representado las variaciones de concentración de carbonatos con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15), y por lo tanto más significativas (Figuras 86 a 89).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) es el 2º muestreo el que presenta los valores menores, mientras que el 3º y 4º presentan los valores mayores (Figura 86).

La tendencia general es a aumentar hasta 10 m excepto en el 2º muestreo donde la tendencia es a un leve descenso de las concentraciones de carbonatos con la profundidad. Destaca el 1º muestreo en el punto 2 y el 3º muestreo en el punto 4 que aumentan sus valores hasta 5 m para luego iniciar una tendencia de descenso de los valores de concentración de carbonatos hasta 10 m de profundidad (Figura 86).

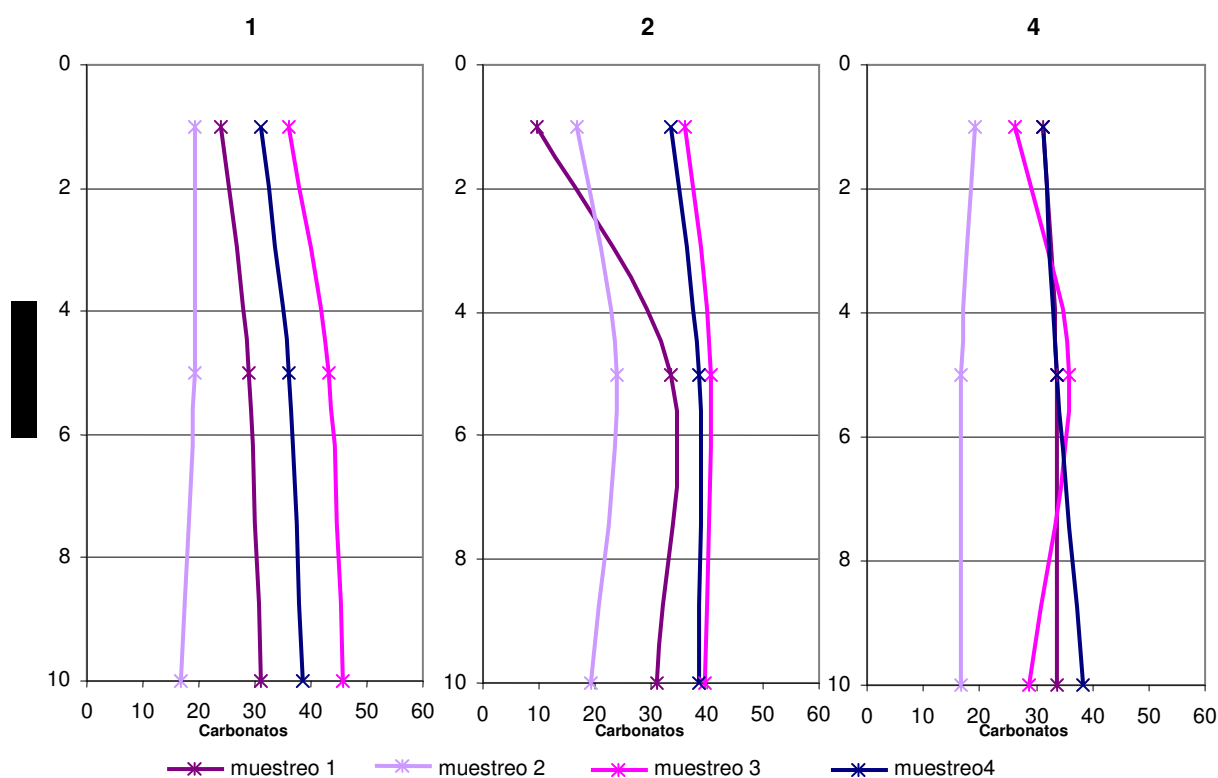
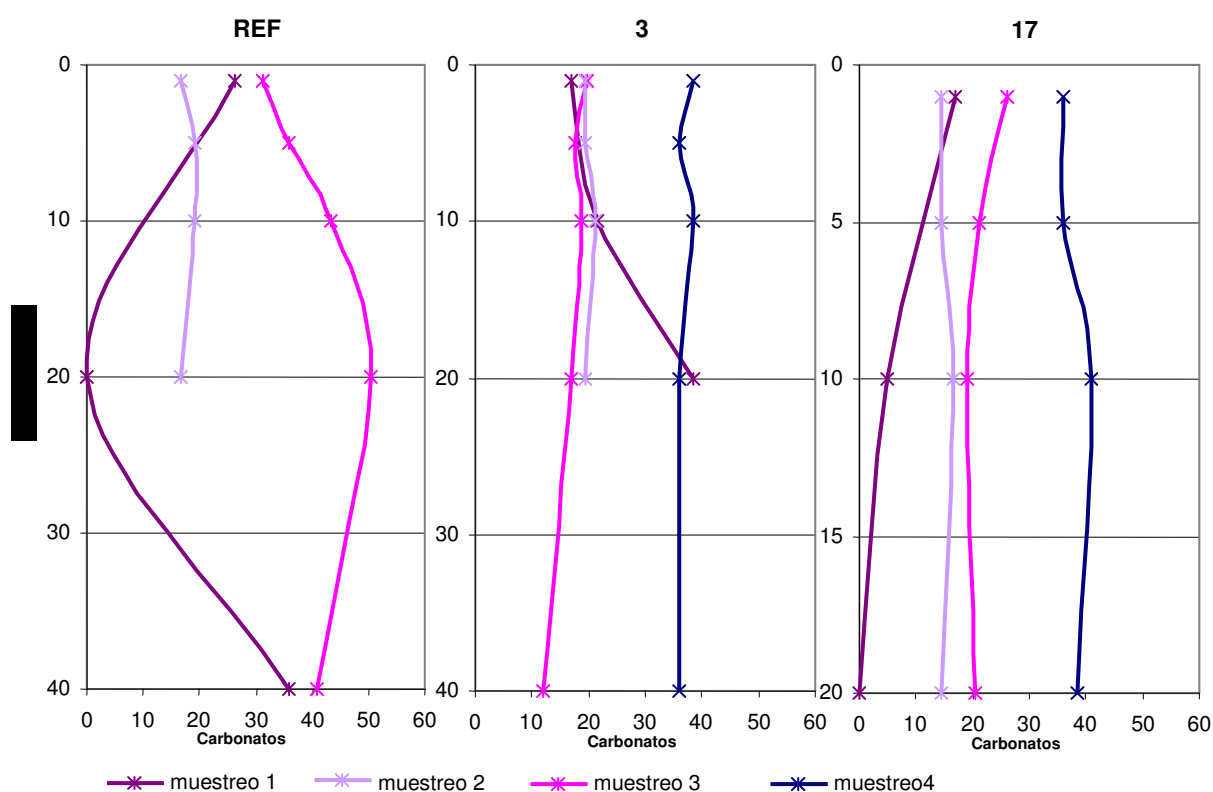


Figura 86. Distribución de carbonatos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo

En la **zona exterior** (Masa 2) es el 4º muestreo el que presenta valores mayores y el 2º y 4º muestreo los que tienen una tendencia más regular en todos los puntos disminuyendo hasta 5 m para aumentar hasta los 10 m de profundidad luego estabilizarse o descender ligeramente hasta alcanzar los 20 m (Figura 87).

El 1º muestreo tiene tendencias distintas para cada punto, en el punto REF y 17 desciende hasta alcanzar 0 mg/l de carbonatos a los 20 m de profundidad, para aumentar, en el punto REF, hasta alcanzar los valores de superficie a 40 m (36 mg/l). En el punto 3 aumenta los valores de carbonatos de superficie a 20 m (Figura 87).

El 3º muestreo en el punto 3 tiene una tendencia similar al 2º y 4º muestreo, sin embargo en el punto REF aumenta la concentración de carbonatos hasta 20 m para después disminuir hasta valores similares a los de superficie (31 mg/l) a 40 m de profundidad. En el punto 17 presenta una tendencia similar al 1º muestreo, disminuyendo las concentraciones de carbonatos de superficie a 20 m de profundidad (Figura 87).



* La escala vertical del punto 17 está duplicada.

Figura 87. Distribución de carbonatos (mg/l) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) es el 4º muestreo el que presenta los mayores valores (Figura 88). El 1º muestreo tiende a permanecer constante con la profundidad en los puntos 9 y 11, mientras que en el punto 12 tiende a disminuir de superficie a 5 m de profundidad para aumentar entre 5 y 10 m (Figura 88).

El 2º muestreo tiende a aumentar los valores de carbonatos con la profundidad, tendencia más marcada en el punto 12, el más profundo. El 3º muestreo tiende a disminuir los valores de carbonatos de 5 a 10 m de profundidad en los puntos del interior de la dársena (puntos 9 y 11), sin embargo en este rango de profundidades la tendencia es a aumentar en el punto 12 para después disminuir hasta 20 m (Figura 88).

El 4º muestreo aumenta sus valores de carbonatos en los puntos 9 y 12 entre superficie y 5 m para luego disminuir hasta alcanzar la máxima profundidad, sin embargo en el punto 11 la tendencia es la contraria disminuyendo entre superficie y 5 m para aumentar de 5 a 10 m de profundidad (Figura 88).

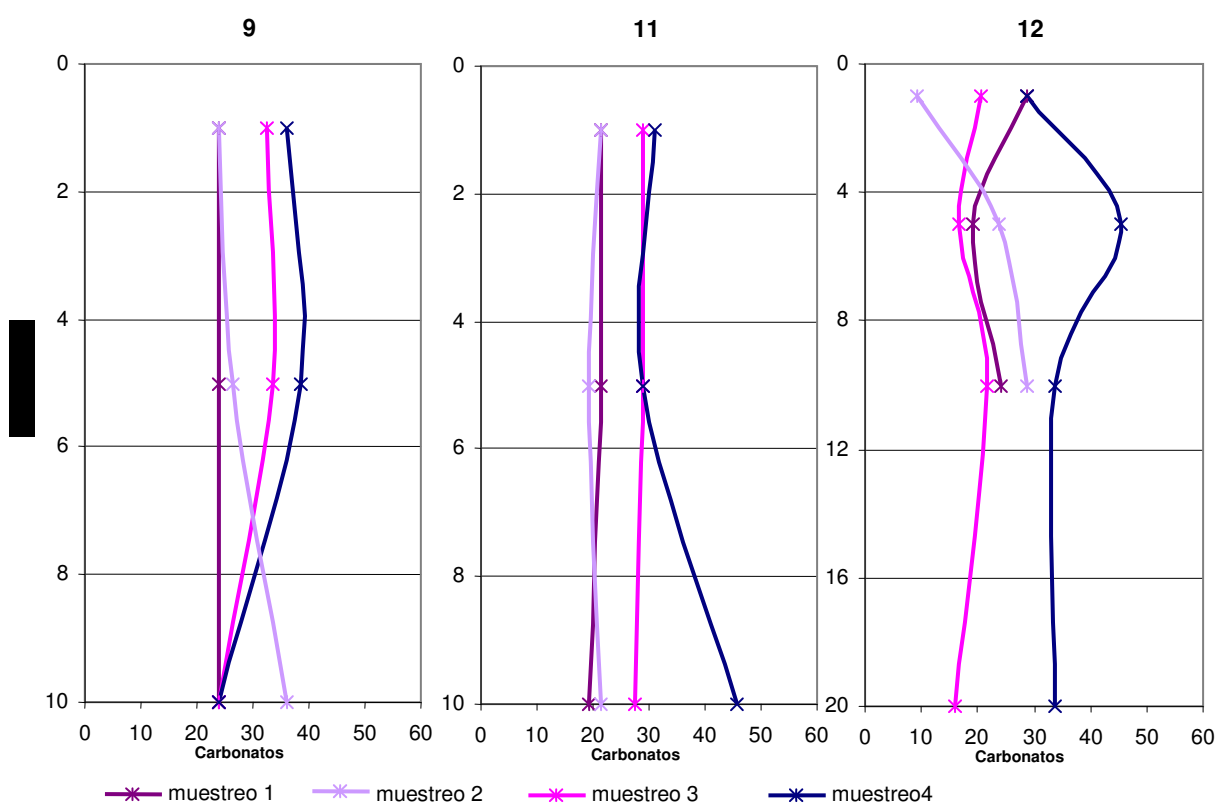
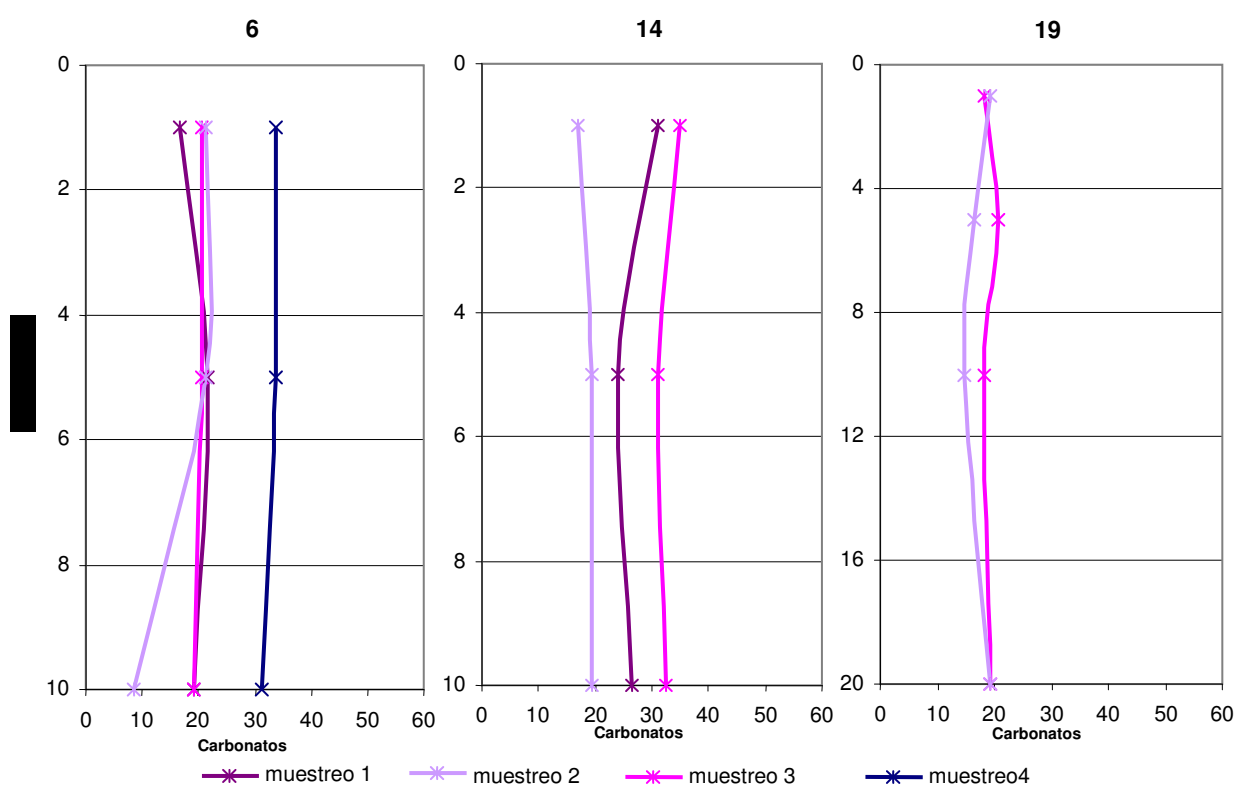


Figura 88. Distribución de carbonatos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas en esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

La representación de concentración de carbonatos frente a profundidad (Figura 89) muestra como el 2º muestreo tiende a aumentar entre superficie y 5 m para luego disminuir hasta los 10 m de profundidad en los puntos 6 y 14, mientras que en el punto 19 disminuye los valores de carbonatos hasta 10 m para aumentar hasta alcanzar los 20 m de profundidad (Figura 89).

El 3º muestreo permanece casi constante en el punto 6, disminuye ligeramente entre superficie y 5 m de profundidad para luego aumentar los valores de carbonatos ligeramente hasta 10 m en el punto 14 y en el punto 19 aumenta entre superficie y 5 m para luego disminuir hasta 10 m y finalmente aumentar ligeramente entre 10 y 20 m de profundidad (Figura 89).



*La escala vertical del punto está reducida a la mitad

Figura 89. Distribución de carbonatos con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

En general, excepto el 2º muestreo en el punto 6, los valores de superficie y fondo son muy similares.

La distribución espacial de carbonatos se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 90), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 21 a 24, Anexo III).

Esta distribución muestra como la mayor variabilidad aparece en el 3º muestreo, mientras que el más homogéneo es el 4º muestreo que también presenta los valores mayores centrados en la zona exterior (Figura 90).

En el 3º muestreo los mayores valores de carbonatos corresponden a la zona exterior, siendo los menores los correspondientes al exterior de la dársena de Escombreras (Figura 90).

Por profundidades el 2º y 4º muestreo son muy homogéneos (Figuras 22 y 24, Anexo III), mientras que el 1º y 3º muestreo presentan mayor variabilidad para cada profundidad (Figuras 21 y 23, Anexo III),.

El 1º muestreo muestra valores bajos donde los máximos se sitúan en superficie y 5 m de profundidad en la dársena de Cartagena, mientras que a 20 m aparecen centrados en la zona de la Algameca (punto 19) (Figura 21, Anexo III).

El 3º muestra valores mayores, los máximos se sitúan en todas las profundidades en la dársena de Cartagena, zona de transición y zona exterior (Figura 23, Anexo III).

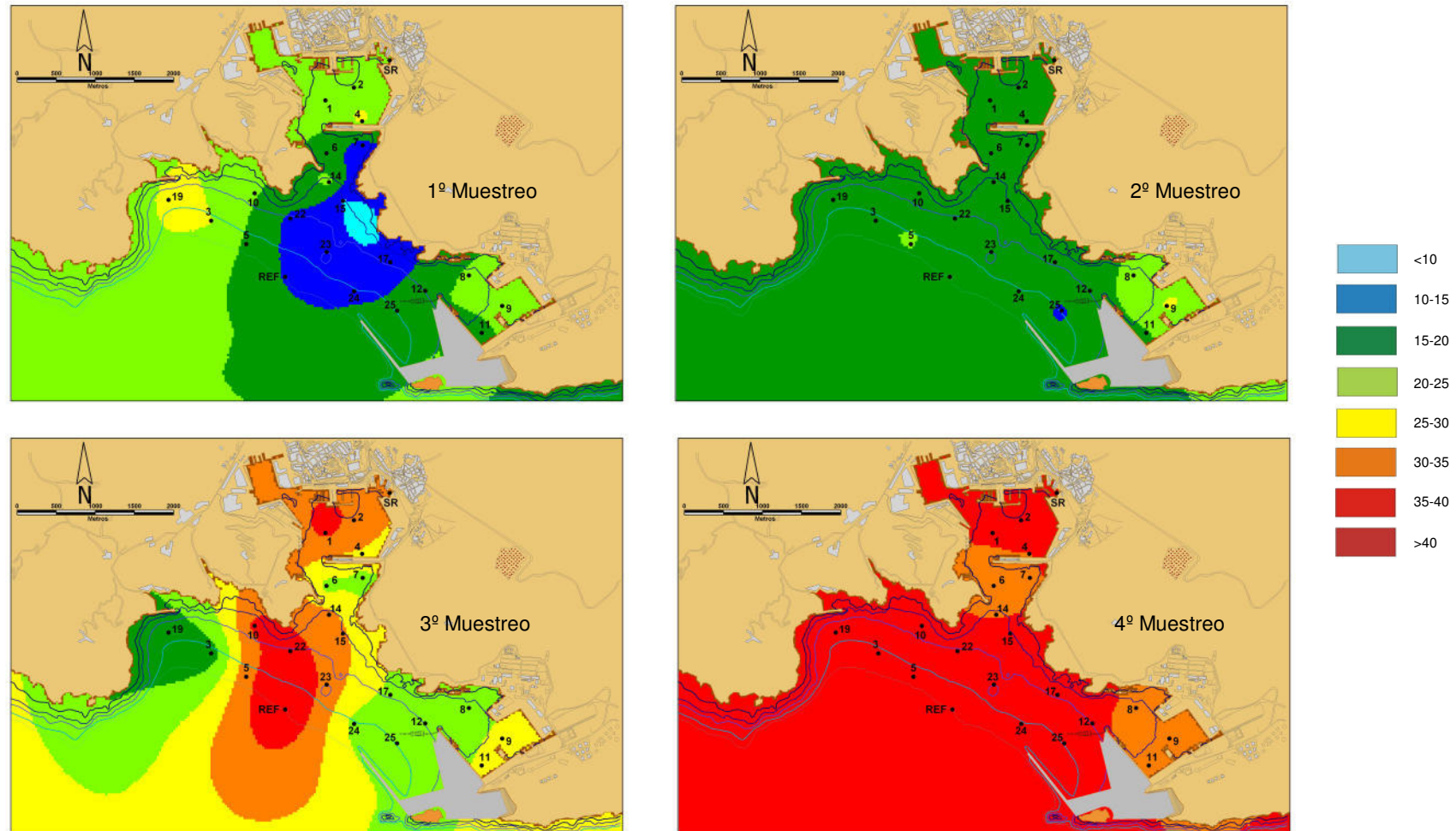


Figura 90. Evolución espacial de carbonatos (mg/l) en cada muestreo en base a los valores medios para cada punto de muestreo

- Bicarbonatos

En el agua de mar es el bicarbonato la especie mayoritaria en la medida de alcalinidad total. Generalmente su valor aumenta con la profundidad debido a la disolución de CaCO_3 . En superficie sus valores dependen de la temperatura de las aguas, en aguas cálidas abundan especies que desarrollan su concha mediante la fijación de CaCO_3 y retiran los compuestos carbonatados del medio, en aguas frías los valores de HCO_3^- son mayores (Millero, 2006).

La distribución de frecuencias de los valores de bicarbonatos corresponde a una distribución normal con curtosis negativa y asimetría positiva (Figura 91). Los valores oscilan entre mínimos de 56,1 mg/l y máximos de 154 mg/l; siendo la media de 101 mg/l (Tabla 11, Figura 91).

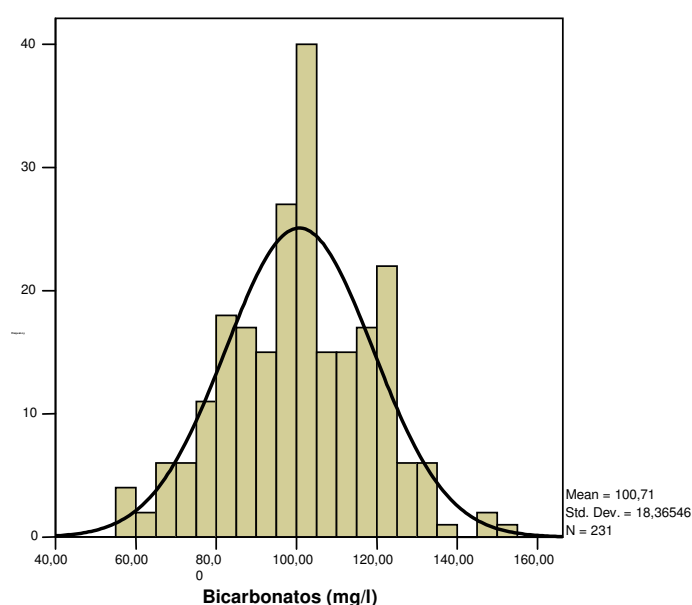


Figura 91. Distribución de frecuencias de bicarbonatos (mg/l)

Se han representado las variaciones de concentración de bicarbonatos con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 92 a 95).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) es el 4º muestreo el que presenta mayores valores y el 3º muestreo menores. El 1º muestreo presenta una tendencia similar en todos los puntos, entre la superficie y 5 m de profundidad tiende a disminuir, aumentando de nuevo hasta 10 m de profundidad, excepto en el punto 4 donde la tendencia es siempre a disminuir en profundidad (Figura 92).

El 2º y 3º muestreo tienen igual tendencia, en cada punto, entre superficie y 5 m, en el punto 1 y 4 tienden a disminuir, en el punto 2 a aumentar. Entre 5 y 10 m las tendencias de ambos muestreos difieren, el 2º muestreo aumenta en los puntos 1 y 2, mientras que el 3º muestreo disminuye para los mismos puntos, invirtiéndose estas tendencias en el punto 4 (Figura 92).

El 4º muestreo muestra una ligera tendencia a disminuir a lo largo de todo el perfil en los puntos 1 y 4, mientras que en el punto 2 tiene una tendencia igual al 1º muestreo (Figura 92).

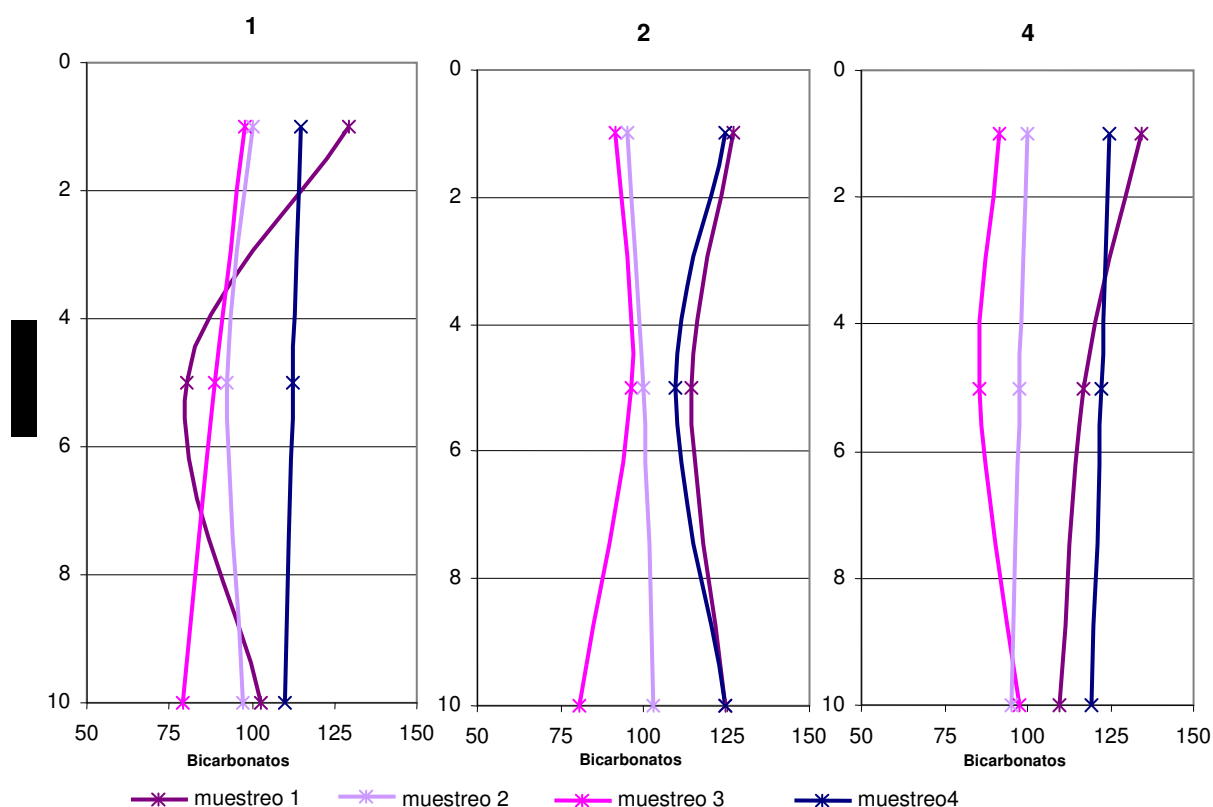
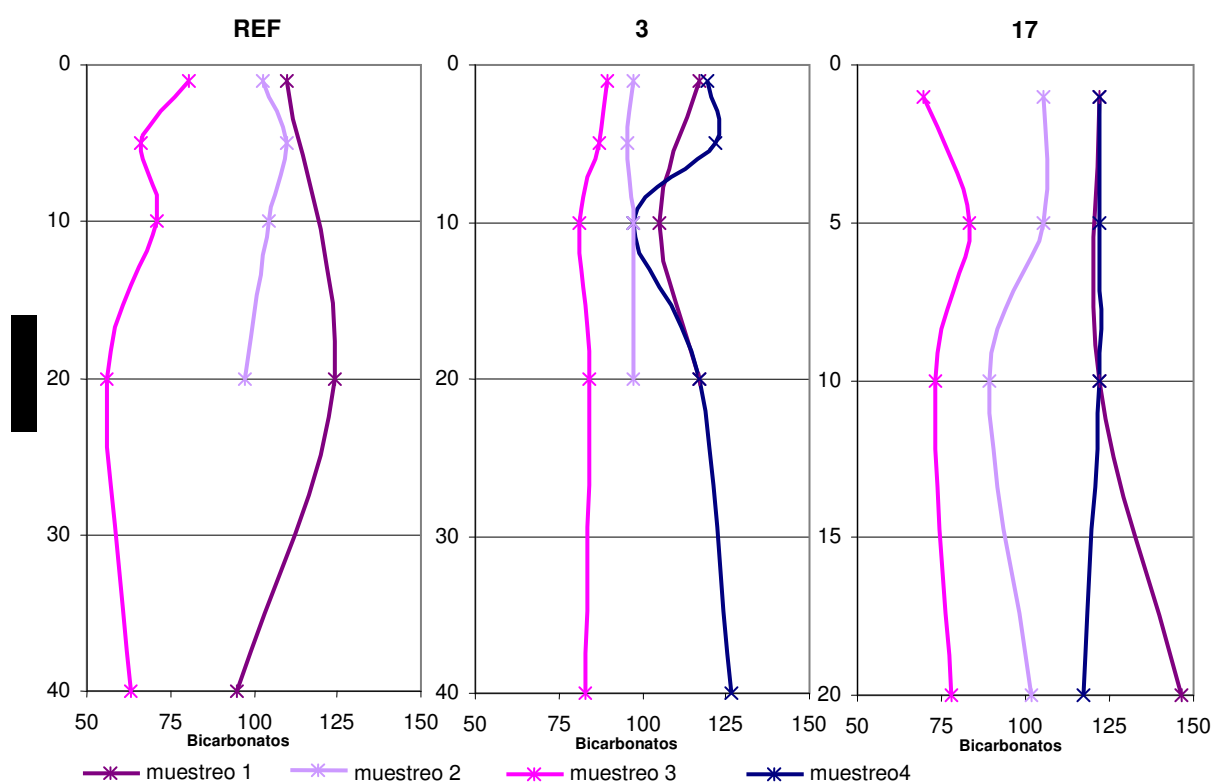


Figura 92. Distribución de bicarbonatos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo

En la **zona exterior** (Masa 2) el 2º y 3º muestreo presenta los menores valores y el 1º y 4º los mayores. El 1º muestreo refleja una tendencia similar entre superficie y 10 m en los puntos 3 y 17 disminuyendo la concentración de bicarbonatos hasta 5 m para aumentar de 5 a 10 m de profundidad, en el punto 3 la tendencia a aumentar continúa hasta alcanzar los 20 m (Figura 93).

El 2º muestreo tiene tendencias distintas para cada punto, aunque en general los valores a los que llega en profundidad son similares a los de superficie. El 3º muestreo presenta en el punto REF una tendencia a disminuir de superficie a 5 m, aumentar de 5 a 10 m para disminuir hasta 20 m y de esta profundidad a 40 m aumentar ligeramente, en los puntos 3 y 17 la tendencia es similar entre superficie y 20 m. El 4º muestreo en el punto 3 muestra variaciones considerables entre superficie y 20 m para después aumentar ligeramente hasta 40 m, mientras que en el punto 17 es prácticamente constante hasta 10 m para disminuir hasta 20 m (Figura 93). Esta diferencia entre ambos puntos puede deberse al estado del mar (Tabla 10), agitado en los puntos más alejados de tierra.

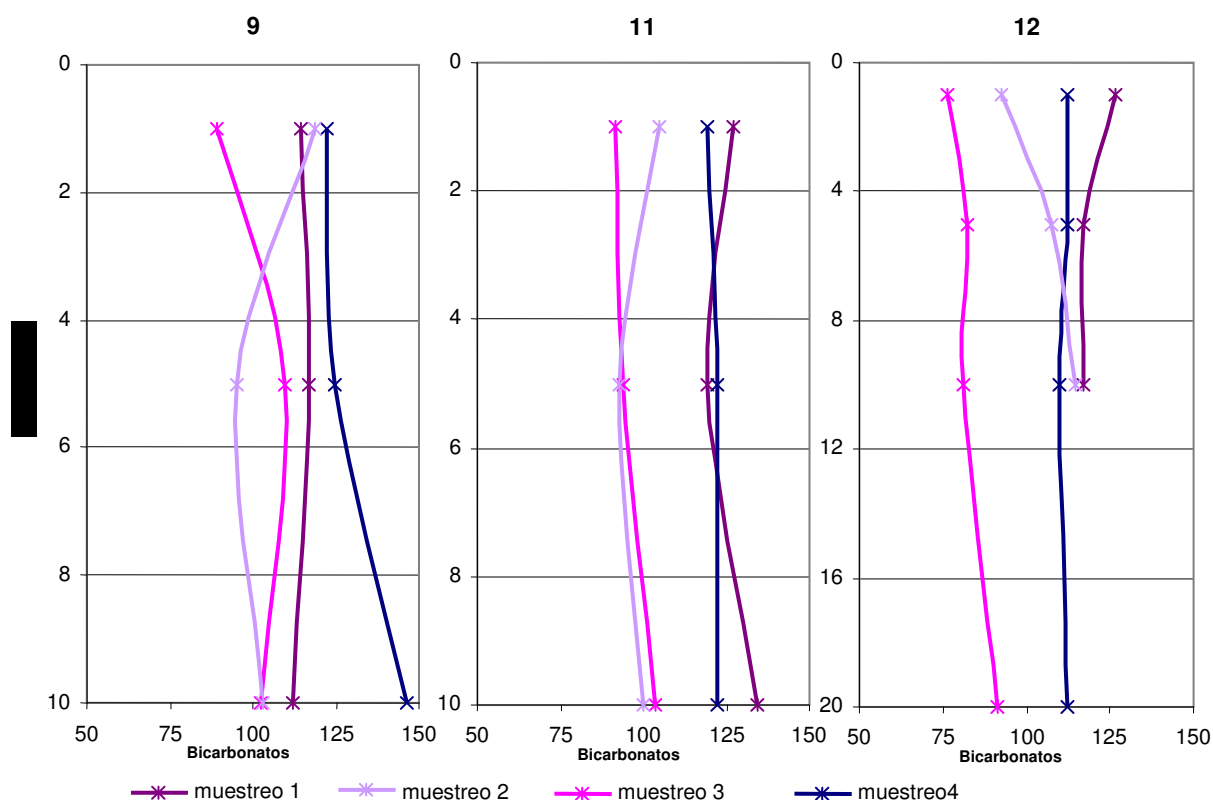


*La escala vertical del punto 17 está duplicada.

Figura 93. Distribución de bicarbonatos (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los valores mayores aparecen en el 1º y 4º muestreo, siendo el 3º muestreo el que presenta valores menores (Figura 94).

Los puntos del interior de la dársena (puntos 9 y 11) presentan un cambio de tendencia a 5 m y el punto 12, exterior, presenta otra inflexión a 10 m la tendencia general es compensar las variaciones de concentración que se dan en profundidades intermedias para alcanzar a la profundidad máxima valores similares a los de superficie (Figura 94), tal y como ocurría con las concentraciones de carbonatos.



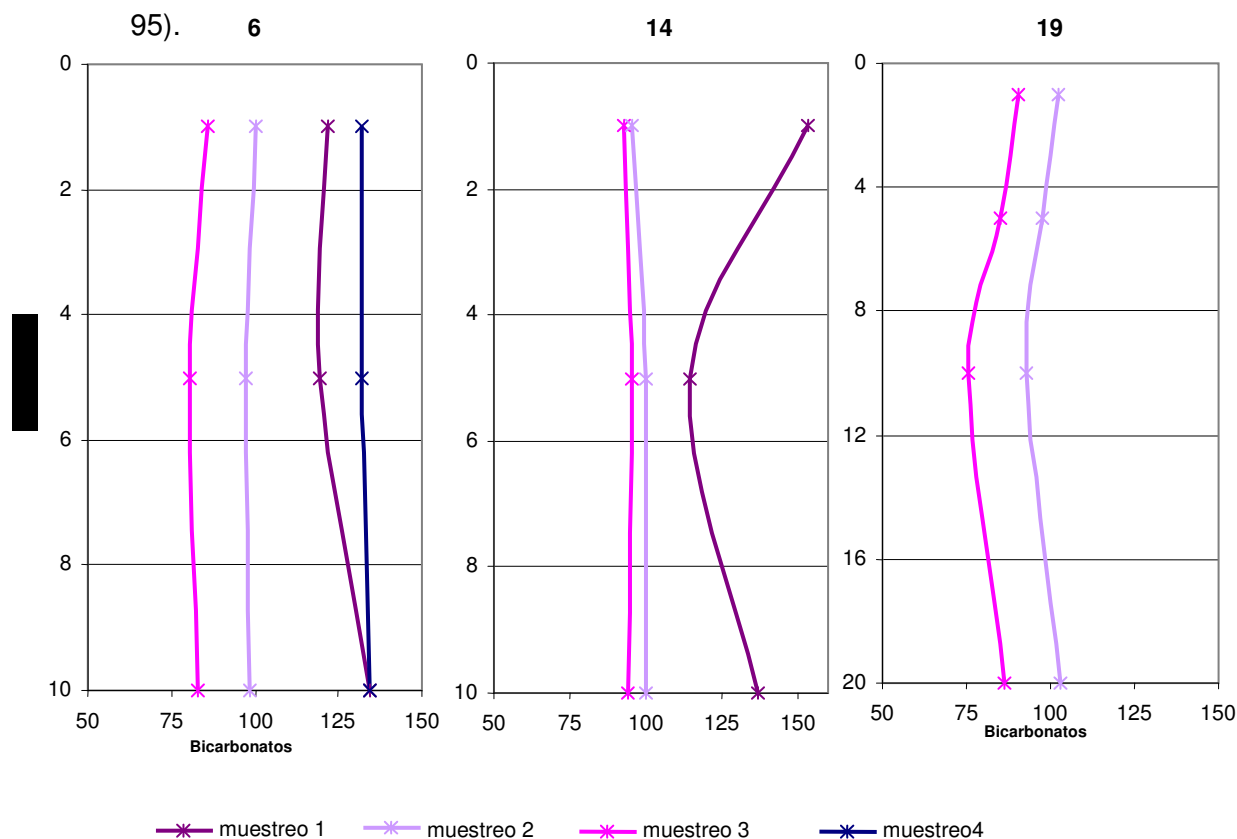
*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

Figura 94. Distribución de bicarbonatos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas en esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

La representación de concentración de bicarbonatos frente a profundidad (Figura 95) muestra como el 1º y 4º muestreo tienen los valores mayores, mientras que 2º y 3º muestreo tienen los valores menores, además de una tendencia similar en cada punto. En los puntos 6 y 14 la tendencia de estos dos muestreos es prácticamente a permanecer constantes con la profundidad, mientras que en el punto 19 las concentraciones de bicarbonatos disminuyen entre la superficie y 10 m para aumentar hasta llegar a 20 m de profundidad (Figura 95).

El 1º muestreo en los puntos 6 y 14 presenta una tendencia similar aumentando de superficie a 5 m para descender hasta 10 m de profundidad, sin embargo esta tendencia es mas acusada en el punto 14 debido a que las concentraciones de bicarbonatos en superficie son elevadas (154 mg/l) (Figura 95).



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 95. Distribución de bicarbonatos con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

La distribución espacial de bicarbonatos se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 96), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 25 a 28, Anexo III).

Esta distribución muestra como son el 1º y 4º muestreo los que presentan mayores concentraciones y variabilidad. En ambos muestreos las concentraciones menores se sitúan en las proximidades de la Algameca y el interior de la dársena de Cartagena (Figura 96).

La distribución espacial por profundidades muestra que es el 3º muestreo el que presenta mayor variabilidad por profundidades situándose las menores concentraciones a todas las profundidades en la zona exterior y la zona de transición, mientras que las concentraciones mayores se sitúan en superficie en la dársena de Cartagena y a 5 y 10 m de profundidad en la dársena de Escombreras (Figura 27, Anexo III).

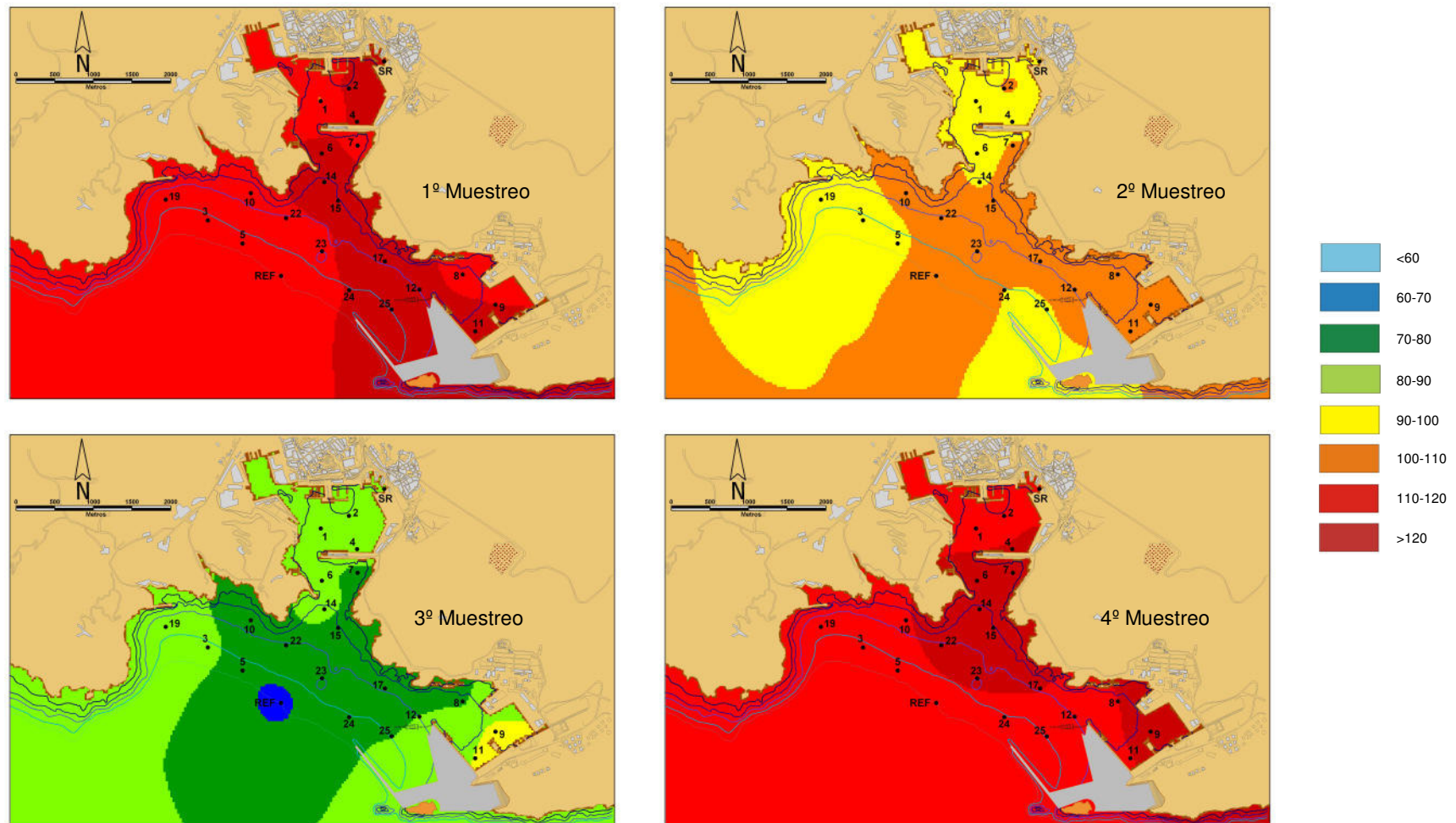


Figura 96. Distribución espacial de bicarbonatos (mg/l) en base a los valores medios de cada punto de muestreo

- Sulfatos

La distribución de frecuencias de sulfatos se aproxima a una normal, curtosis positiva y asimetría negativa debido a un mayor rango de valores inferiores a la media (Figura 97). Los valores mínimos son de 2250 mg/l y los máximos de 3750 mg/l; siendo la media de 3050 mg/l (Tabla 11, Figura 97).

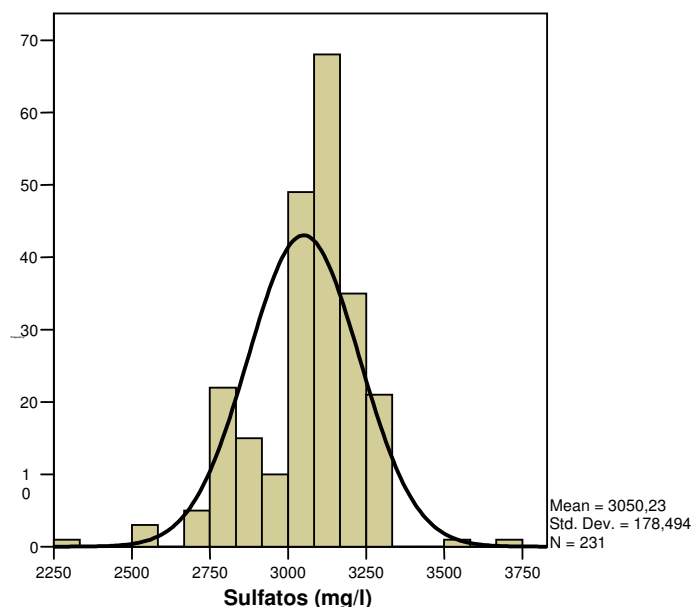
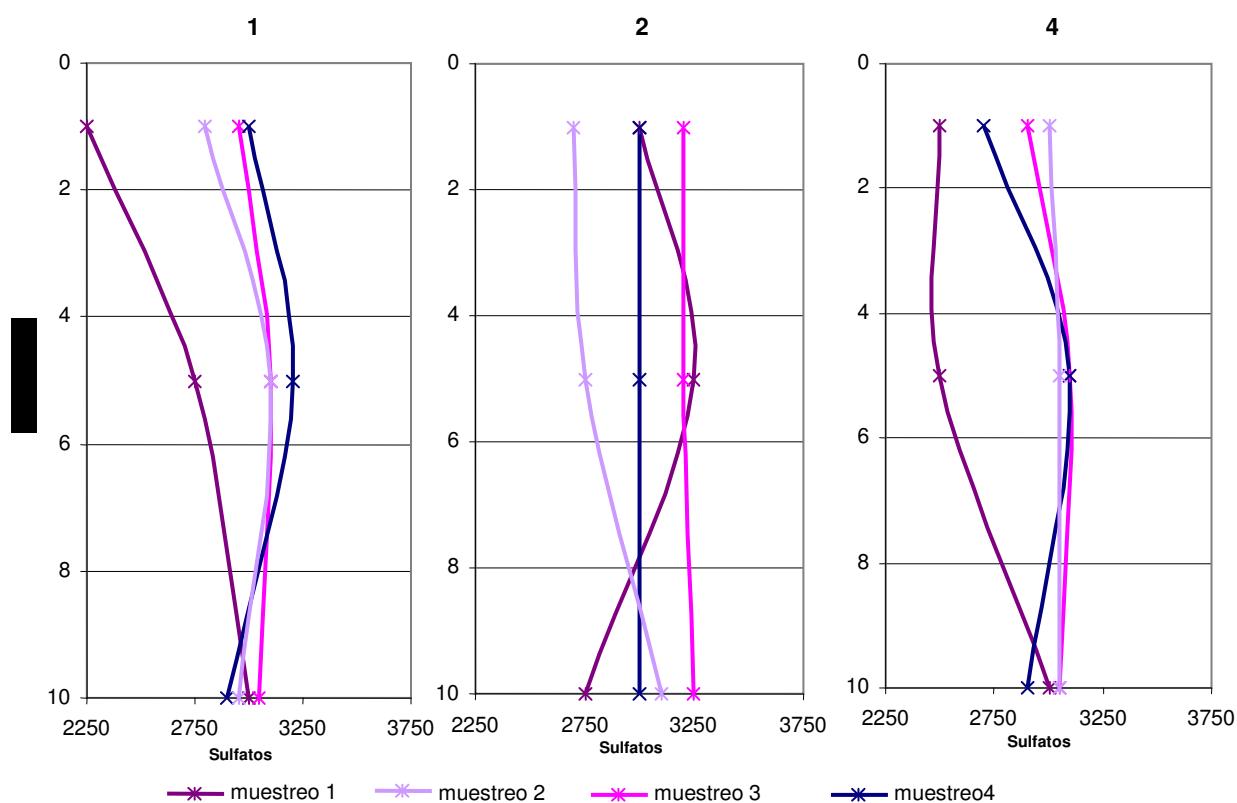


Figura 97. Distribución de frecuencias de sulfatos (mg/l)

Se han representado las variaciones de concentración de sulfato con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 98 a 101).

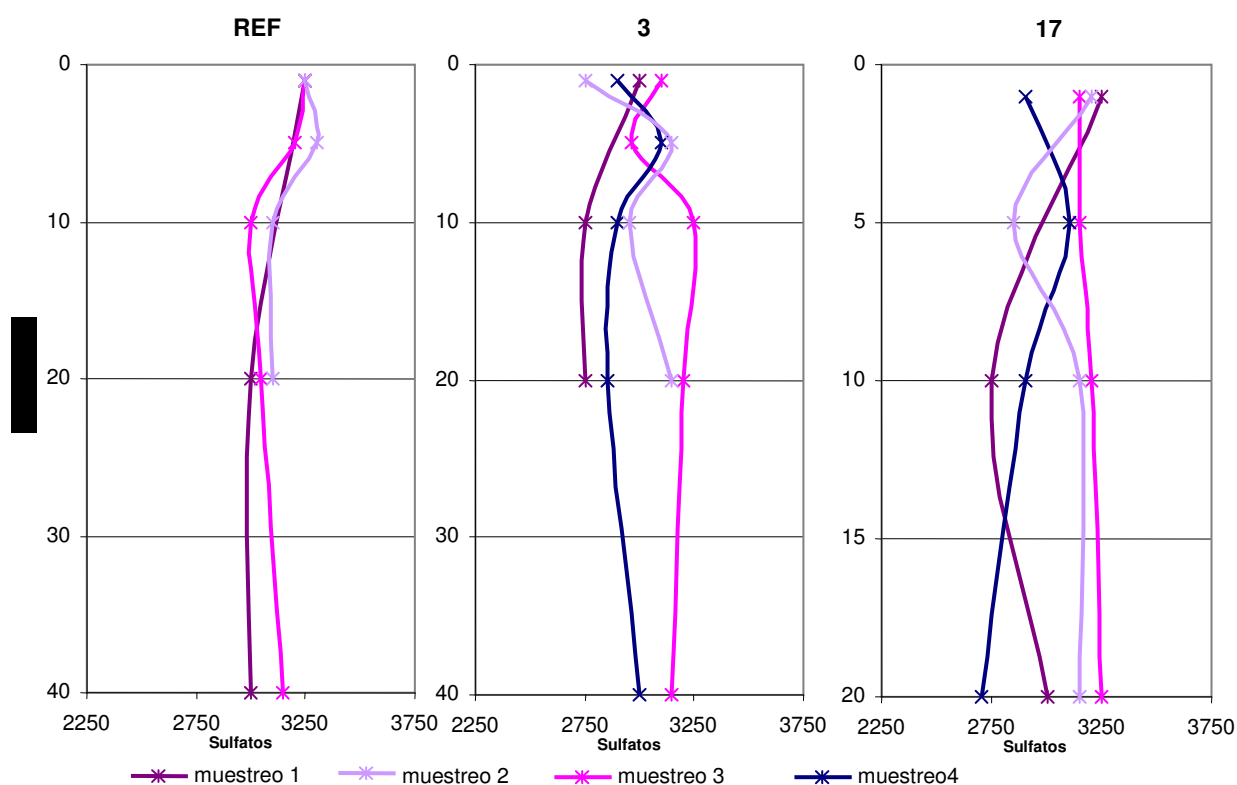
En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) se aprecia como los muestreos 2º, 3º y 4º tienen un comportamiento similar, aumentando las concentraciones de sulfatos hasta 5 m de profundidad y disminuyendo a partir de ese punto. Sin embargo el 1º muestreo tiene la tendencia contraria. El punto 2 presenta una tendencia contraria en todos los muestreos al resto de puntos (Figura 98).

Las tendencias de los valores de concentración de sulfatos en esta zona son similares a las que presenta la salinidad en la misma zona (Figura 56).



En la **zona exterior** (Masa 2) se observa como el 1º muestreo tiende a aumentar la concentración de sulfatos de superficie a 10 m de profundidad en todos los puntos, de 10 a 40 m en los puntos REF y 3 los valores permanecen prácticamente constantes, en el punto 17 la tendencia es a disminuir de 10 a 20 m de profundidad (Figura 99).

El muestreo 2º refleja una tendencia similar en los puntos REF y 3, aumentando hasta 5 m para luego disminuir hasta 10 m y finalmente aumentar hasta 20 m, esta tendencia se invierte en el punto 17. El 3º muestreo muestra una tendencia similar al 2º muestreo en el punto REF, tendencia que se invierte en el punto 3 y muestra un leve aumento a lo largo del perfil en el punto 17. El 4º muestreo tiene una tendencia similar en el punto 3 y 17 hasta 20 m y, a la vez, similar al 2º muestreo en el punto 3 (Figura 99).



*La escala vertical del punto 17 se representa duplicada

Figura 99. Distribución de sulfatos (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo

La tendencia general en la **dársena de Escombreras** (Masa 3) parece ser la de disminuir hasta 5 m y después aumentar, pero esta tendencia no se mantiene en todos los muestreo, ni en todos los puntos (Figura 100).

Los muestreos 1º y 2º muestran una tendencia similar en los puntos 11 y 12, pero no en el punto 9 donde la tendencia para el 1º muestreo es la general, mientras que el 2º muestreo tiende a aumentar en todo el perfil (Figura 100).

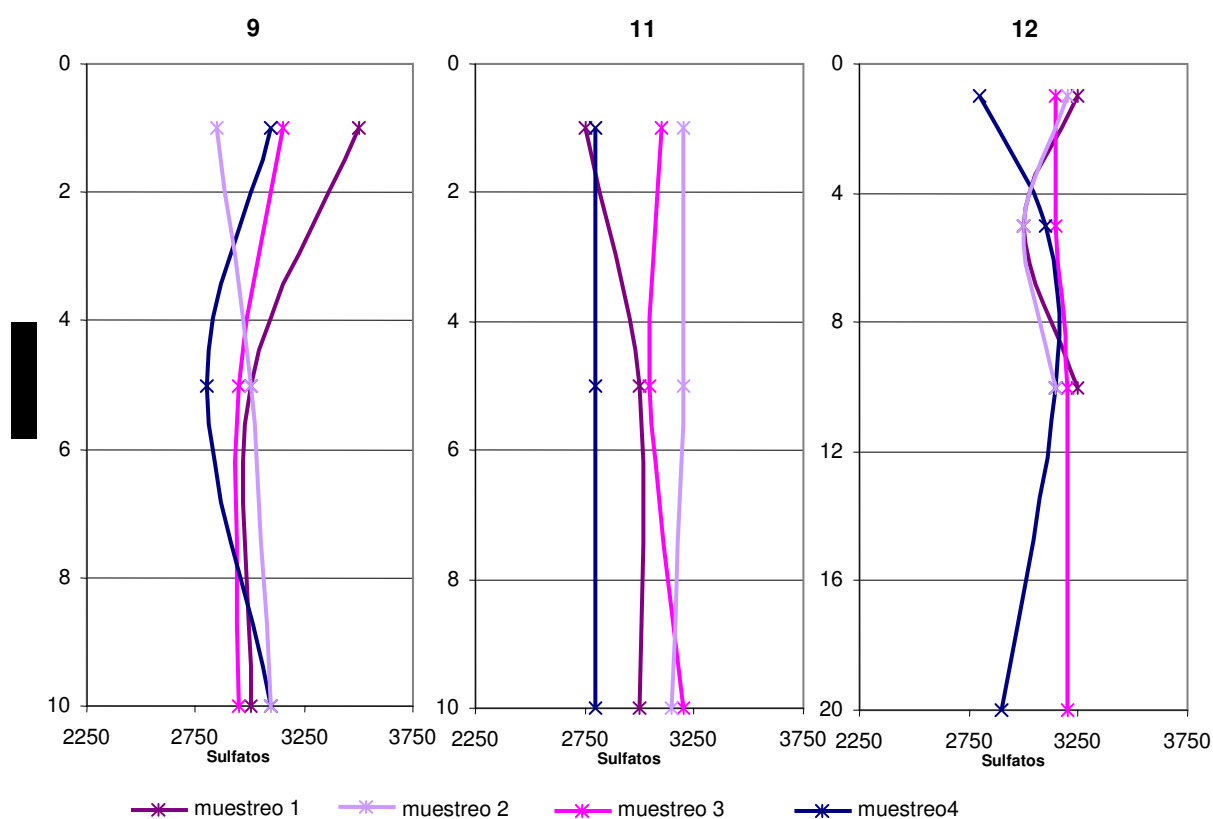
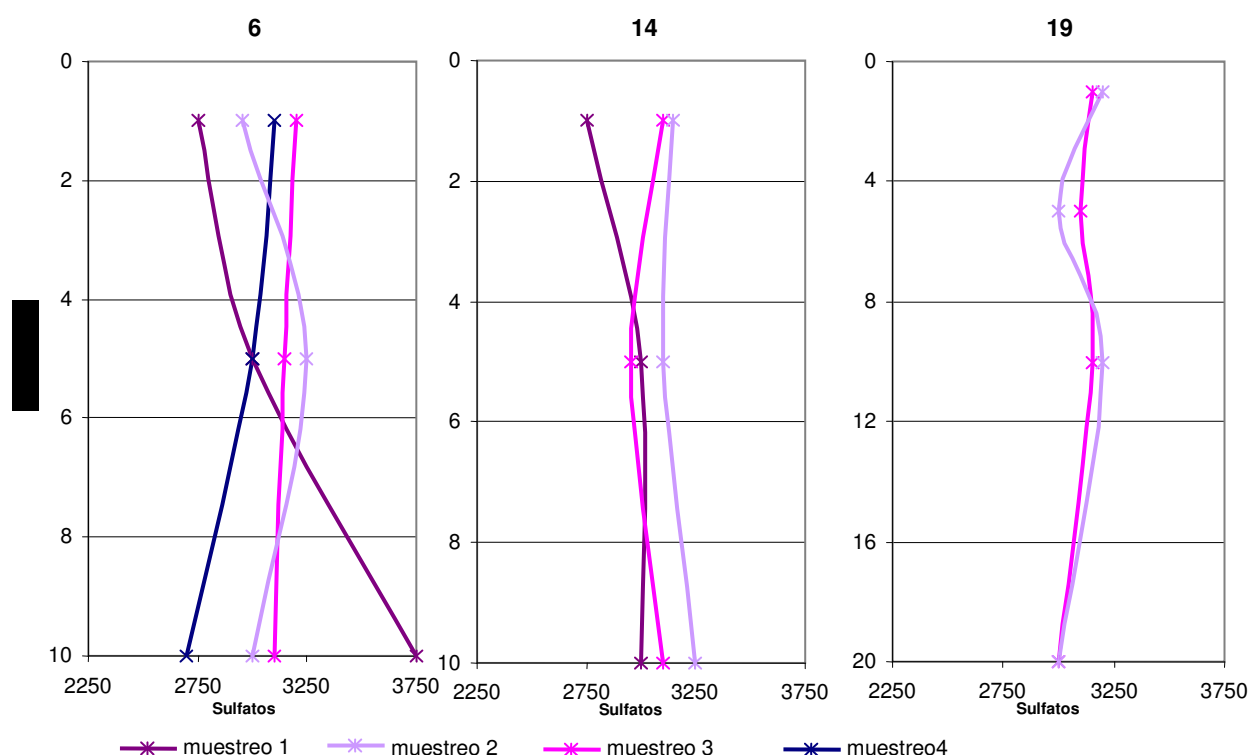


Figura 100. Distribución de sulfatos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas en esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

La representación de concentración de sulfatos frente a profundidad muestra que no hay una tendencia marcada para todos los puntos y muestreos (Figura 101).

El 1º muestreo en los puntos 6 y 14 aparece una tendencia a aumentar desde superficie a 5 m de profundidad, tendencia que en el punto 6 permanece hasta 10 m, mientras que en el punto 14 se invierte. El 2º muestreo presenta tendencias opuestas en el punto 6 y 14 con el punto de inflexión en ambos casos a 5 m de profundidad. El 3º muestreo tiende, en todos los puntos, a disminuir las concentraciones de sulfatos hasta 5 m, a partir de esta profundidad y hasta 10 m tiende a aumentar en los puntos 14 y 19, mientras que disminuye en el punto 6. El punto 19 muestra igual tendencia para los muestreos 2º y 3º (Figura 101).



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 101. Distribución de sulfatos (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

La distribución espacial de sulfatos se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 102), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 29 a 32, Anexo III).

Esta distribución refleja como existe un aumento de las concentraciones desde el 1º muestreo al 3º, al igual que una homogeneización de los valores. En el 4º muestreo, los valores vuelven a descender, siendo aún muy homogéneos, correspondiendo la máxima variabilidad al 1º muestreo (Figura 102).

Es también en la distribución espacial por profundidades donde el 1º muestreo presenta la máxima variabilidad, apareciendo los valores máximos en superficie en la zona exterior, a 5 m en la dársena de Cartagena y a 10 m y 20 m en la zona de transición (Figura 29, Anexo III).

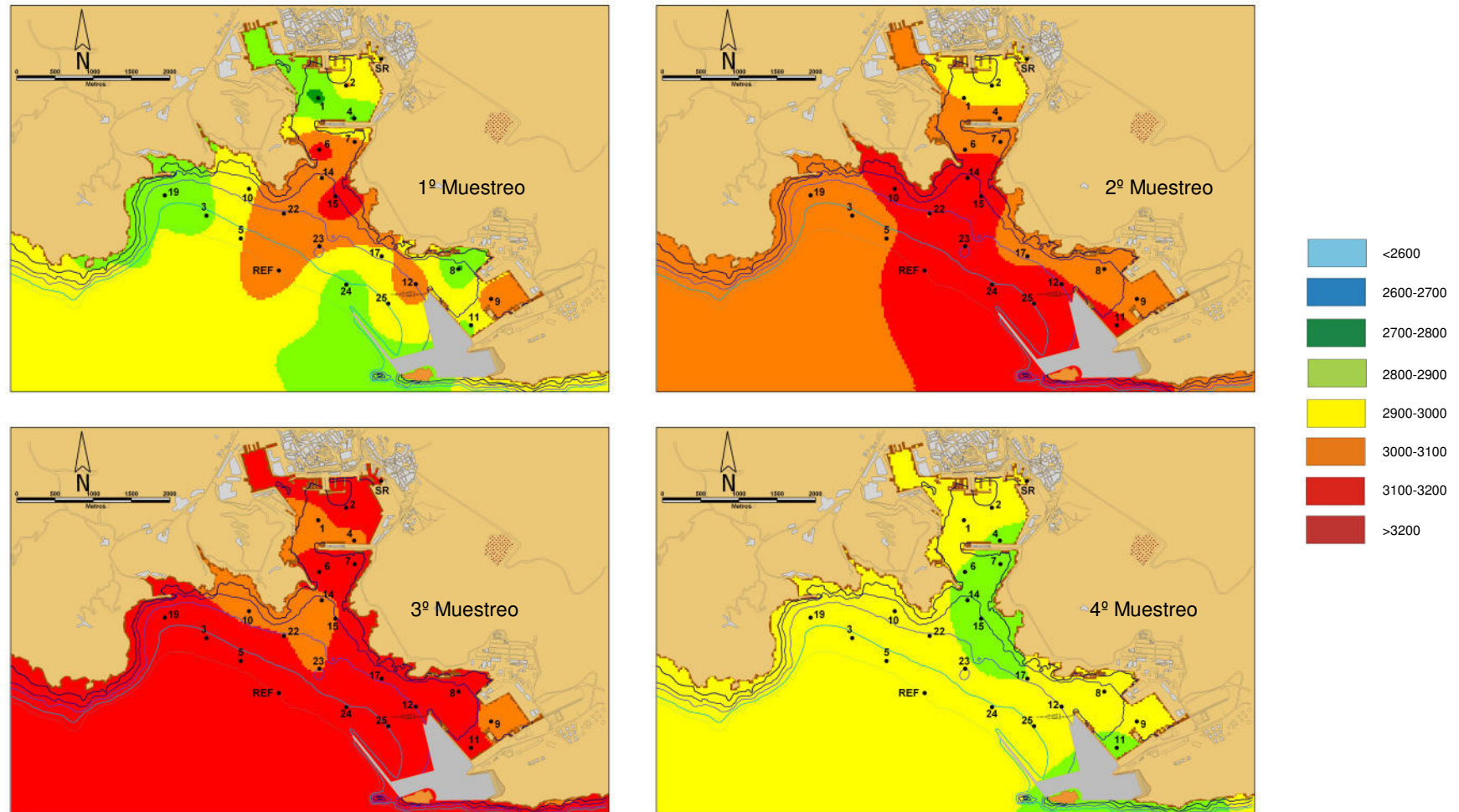


Figura 102. Distribución espacial de sulfatos (mg/l) en base a los valores medios de cada punto de muestreo

- Cloruros

La distribución de frecuencias de cloruros se ajusta a una normal, con curtosis y asimetría positiva (Figura 103), el rango de valores menores que la media es más extenso que el de valores mayores.

Los valores mínimos son de 17400 mg/l y los máximos de 25200 mg/l, la media se sitúa en 20748 mg/l (Tabla 11, Figura 103).

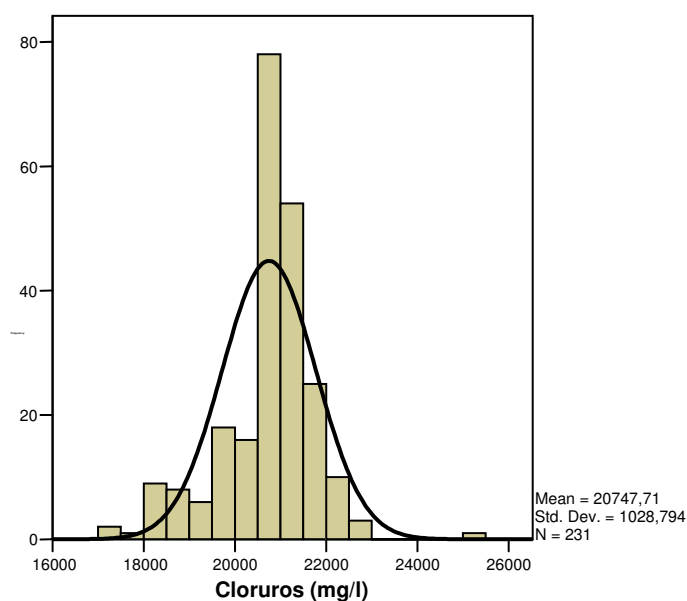


Figura 103. Distribución de frecuencias de cloruros (mg/l)

Se han representado las variaciones de concentración de cloruros con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 104 a 107).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) es el 3º muestreo el que presenta una tendencia similar en todos los puntos, decrece hasta 5 m de profundidad y luego crece, esta tendencia no es compartida por el resto de los muestreos ni los puntos (Figura 104).

La tendencia de las concentraciones de cloruros en esta zona es similar a la que presentan las concentraciones de sulfatos en la misma zona (Figura 98).

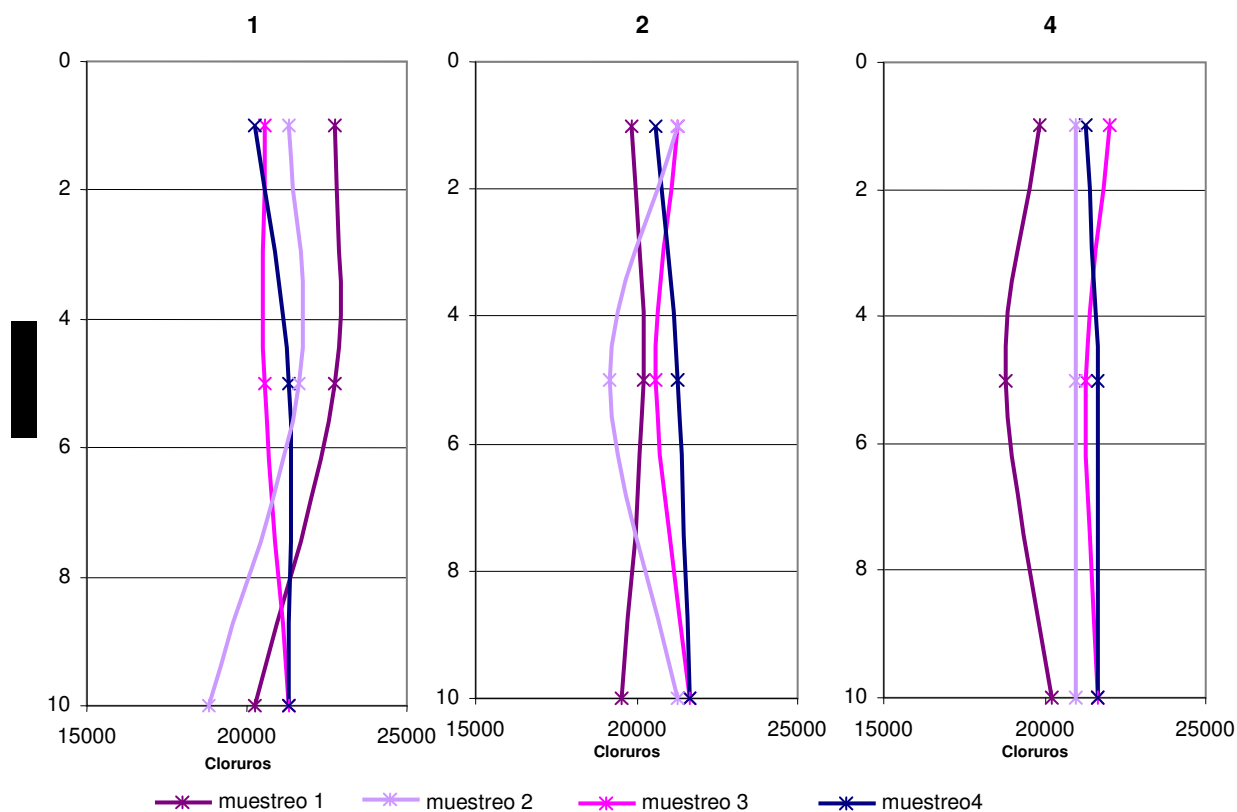
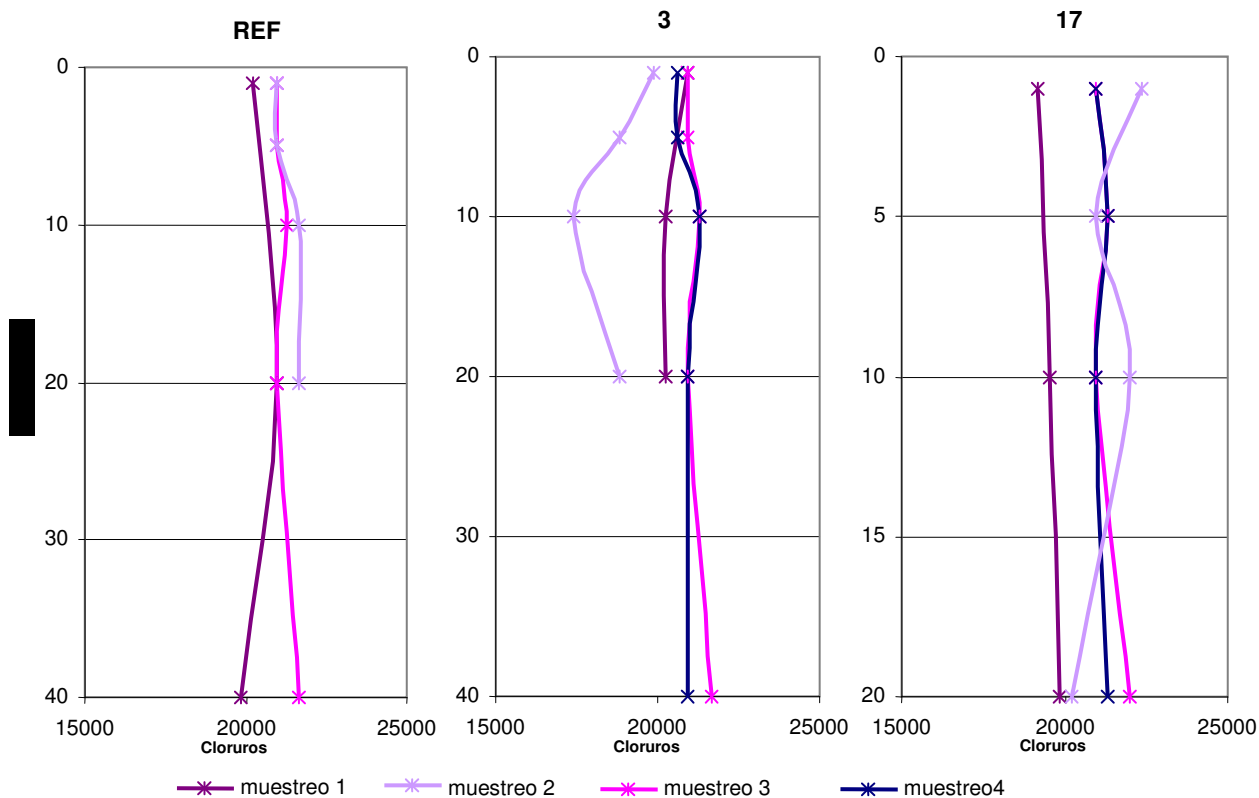


Figura 104. Distribución de cloruros (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo

En la **zona exterior** (Masa 2) los valores de cloruros para los diferentes muestreos en cada punto son bastante constantes, en torno a 20000 - 22500 mg/l, con una ligera tendencia a aumentar con la profundidad, excepto el 2º muestreo que en los puntos 3 y 17 disminuye de superficie a 20 m (Figura 105).

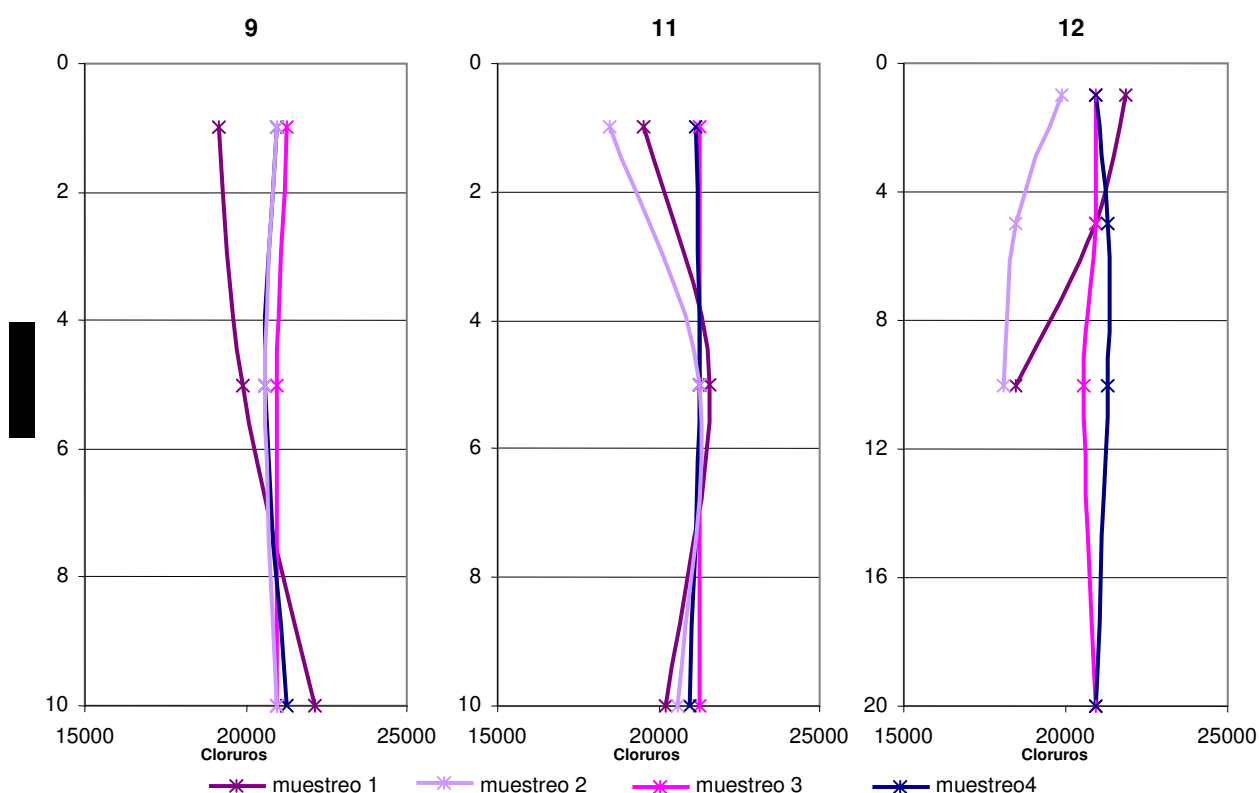


*La escala vertical del punto 17 está duplicada

Figura 105. Distribución de cloruros (mg/l) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) se aprecia en el punto 9 una tendencia común en todos los muestreos, el aumento de las concentraciones de cloruros de superficie a 10 m de profundidad. El punto 11 muestra una tendencia común para los muestreos 1º y 2º aumentando de superficie a 5 m para luego disminuir de 5 a 10 m de profundidad. Igualmente los muestreos 3º y 4º también muestran una tendencia común siendo constantes respecto de la profundidad (Figura 106).

El punto 12 muestra de nuevo la misma agrupación por muestreo pero en este caso la tendencias no son tan similares (Figura 106)

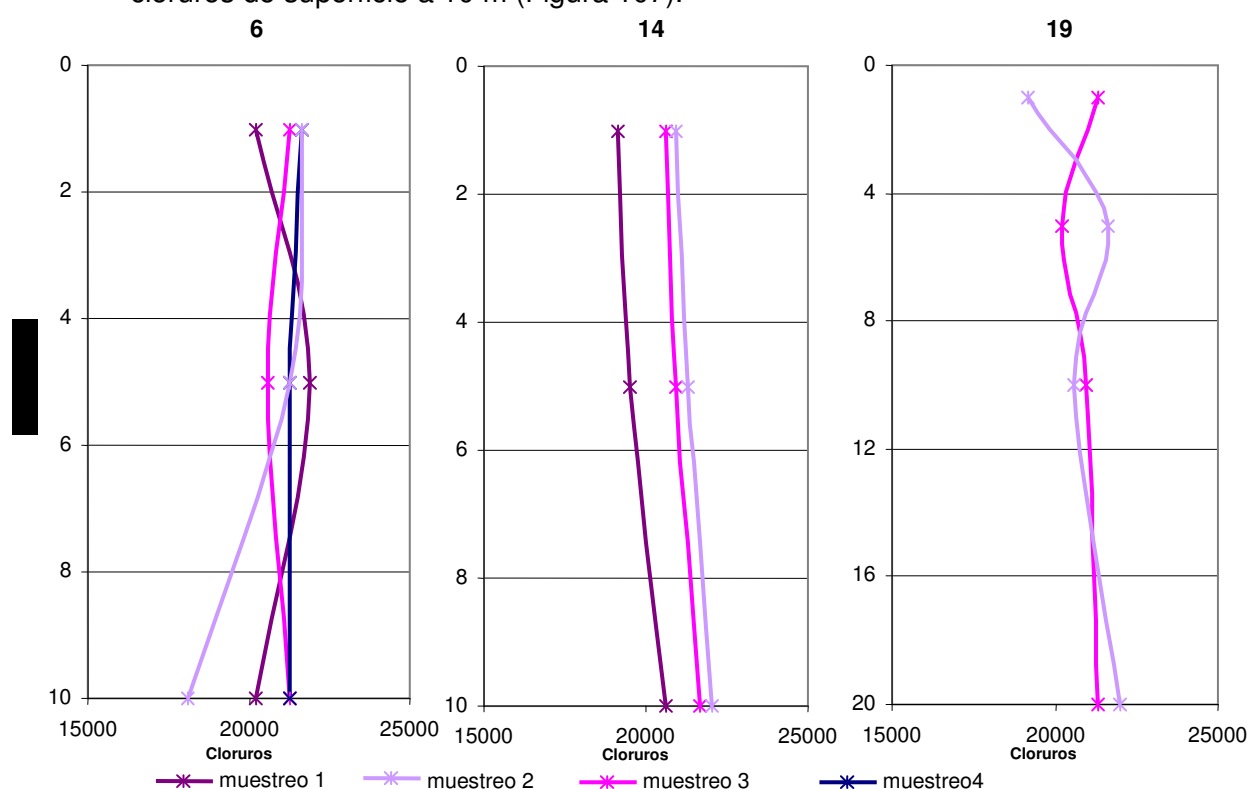


*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

Figura 106. Distribución de cloruros (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas en esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

La representación de concentración de cloruros frente a profundidad en el 3º muestreo el que presenta una tendencia regular en los puntos 6 y 19 con un ligero descenso de los valores de cloruros hasta alcanzar 5 m de profundidad y a partir de este punto un ligero incremento. El punto 14 muestra tendencias similares para los muestreos 1º, 2º y 3º aumentando la concentración de cloruros de superficie a 10 m (Figura 107).



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 107. Distribución de cloruros (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

La distribución espacial de cloruros se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 108), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 33 a 36, Anexo III).

La evolución espacial de las concentraciones de cloruros muestra como los valores mayores se alcanzan en el 3º muestreo y los menores en el 1º muestreo, siendo el 2º muestreo el que muestra mayor variabilidad, apareciendo en todos los muestreos la zona de la Algameca (Punto 19) como la de valores menores (Figura 108).

La distribución espacial con mayor variabilidad en profundidad corresponde al 2º muestreo. Las mayores concentraciones se desplazan en función de la profundidad, así en superficie se localizan en la dársena de Cartagena y el exterior de la de Escombreras, a 5 m se desplazan a la zona próxima a la Algameca y a 10 y 20 m aparecen sobre la zona exterior (Figura 34, Anexo III).

Como era de esperar salinidad y cloruros presentan una relación directa, pero es de destacar la relación existente entre estos dos parámetros y las concentraciones de sulfatos en la dársena de Cartagena (Masa 1).

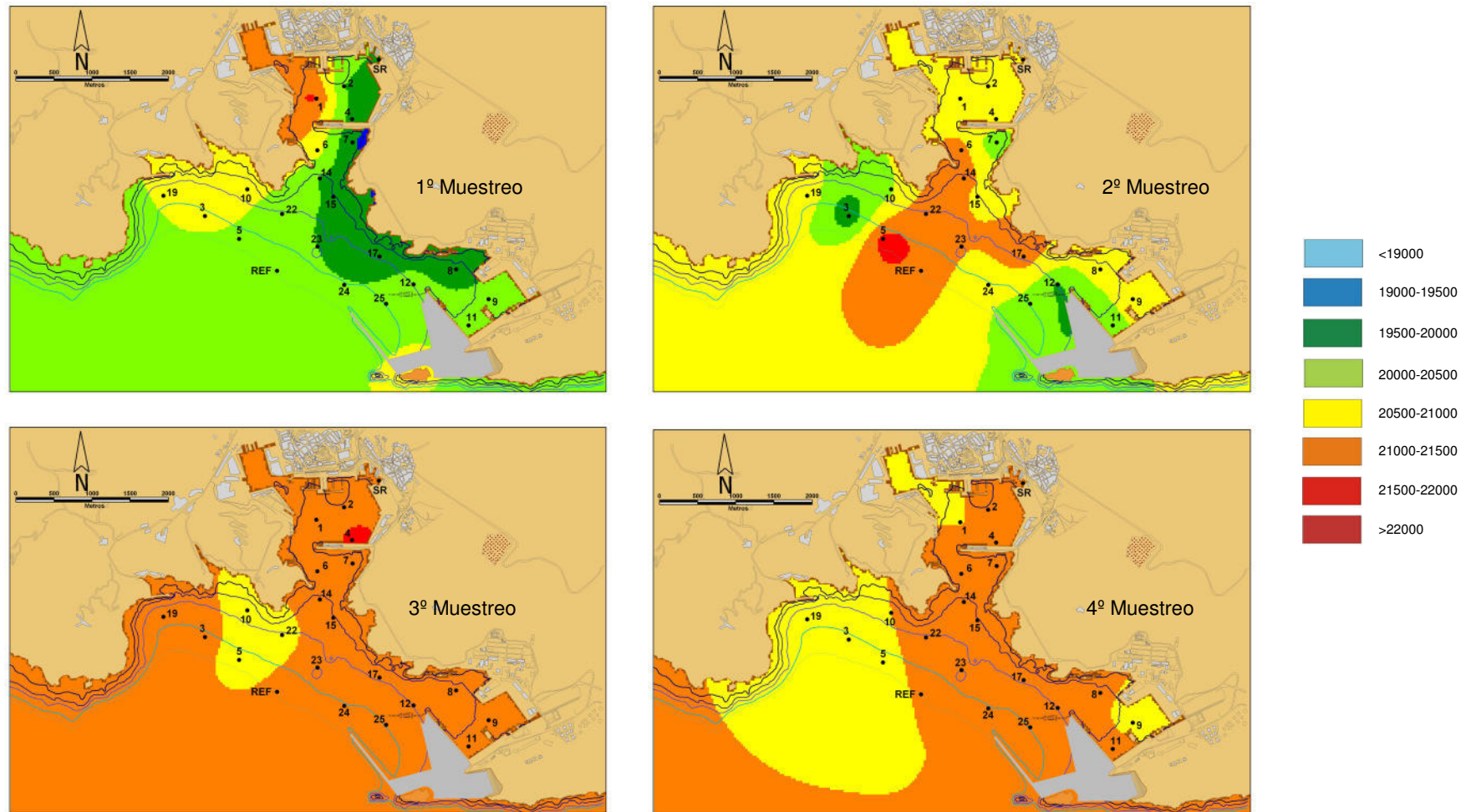


Figura 108. Distribución espacial de cloruros (mg/l) en base a los valores medios para cada punto de muestreo

- Calcio

La distribución de frecuencias de concentración de calcio se ajusta a una normal, curtosis positiva y asimetría negativa (Figura 109). La mayoría de los valores aparecen en el entorno de los 250-600 mg/l siendo el valor mínimo de 237mg/l, el máximo 575 mg/l y la media de 410 mg/l (Figura 109).

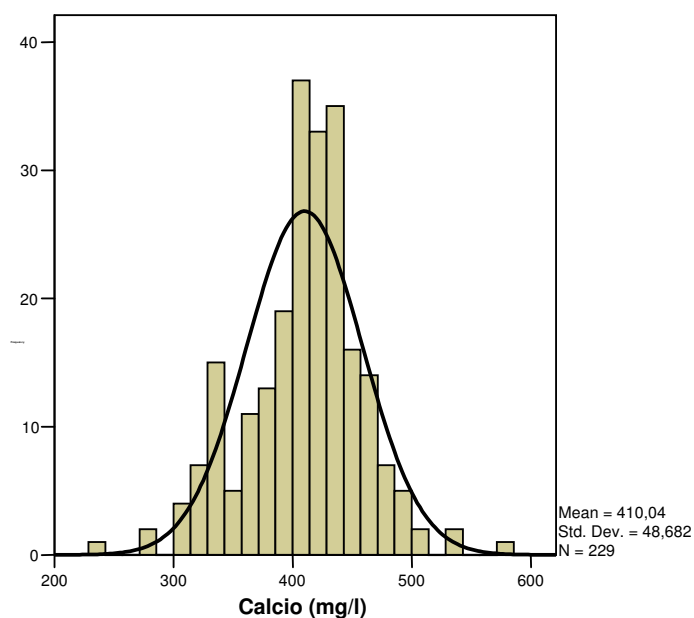


Figura 109. Distribución de frecuencias de calcio (mg/l)

Se han representado las variaciones de concentración de calcio con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 110 a 113).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) los valores presentan una tendencia casi común a descender o mantenerse constantes a partir de 5 m, no es el caso del 3º muestreo que únicamente presenta esa tendencia en el punto 4 (Figura 110).

El punto 4 presenta una tendencia común para el 1º, 3º y 4º muestreo. El 3º muestreo en los puntos 1 y 2 presenta una tendencia más marcada que los demás, en el punto 1 la concentración de calcio disminuye de superficie a 5 m y comienza a aumentar hasta llegar a 10 m, la tendencia en el punto 2 es la contraria, pero con la misma inflexión a 5 m (Figura 110).

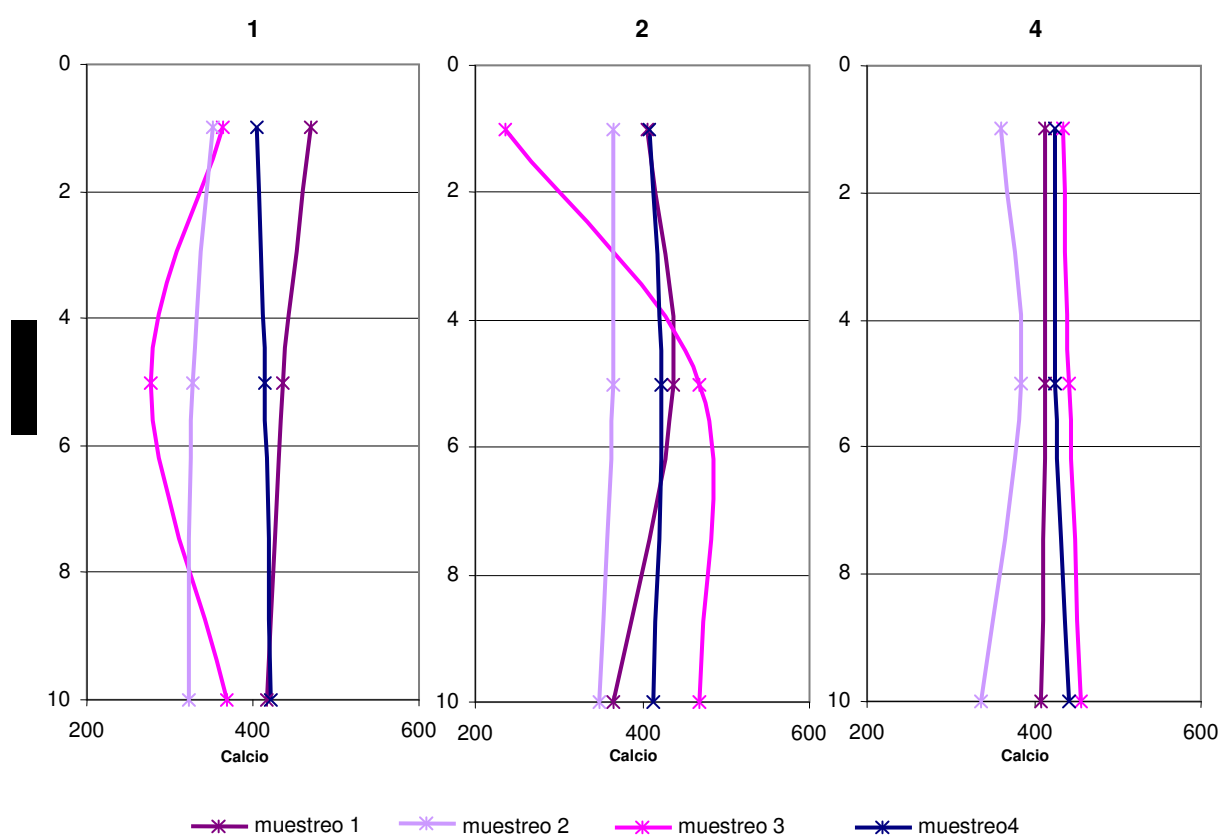
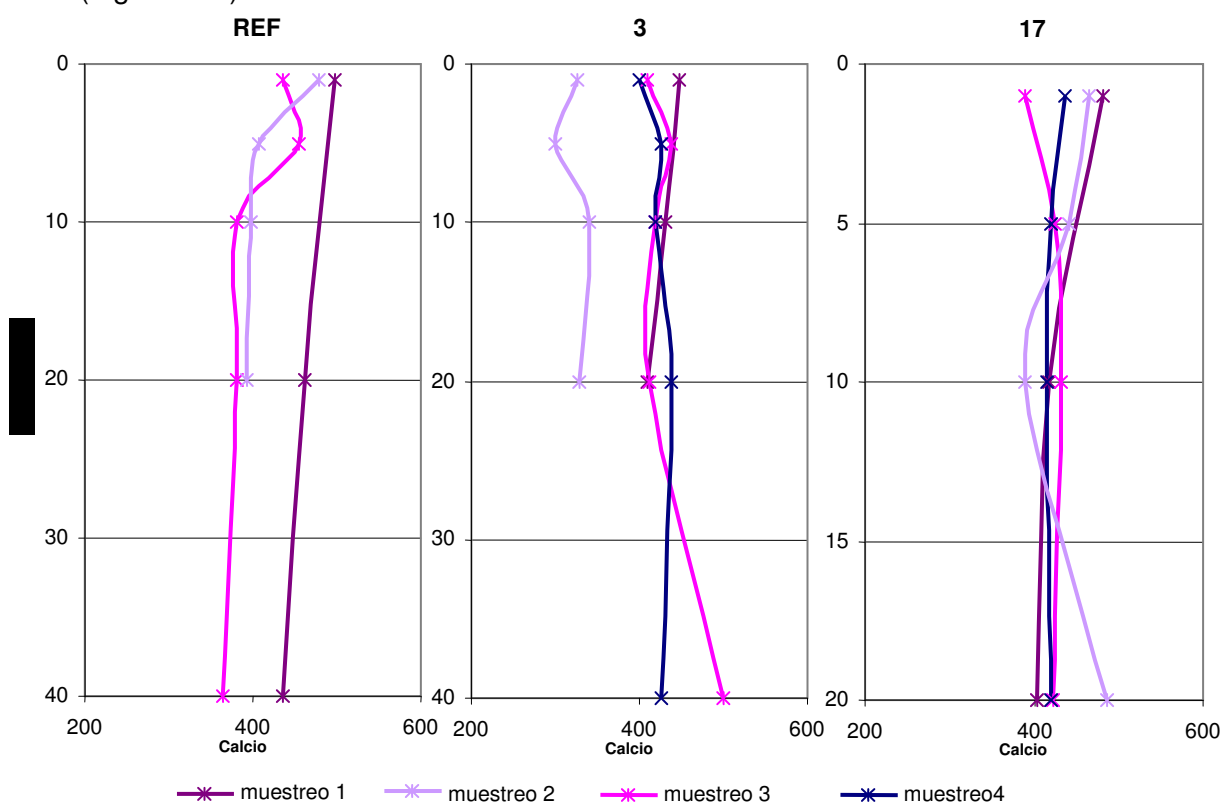


Figura 110. Distribución de calcio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena (Masa 1) para cada muestreo

En la **zona exterior** (Masa 2) los valores de concentración de calcio en el 1º muestreo tienden a descender en todos los puntos con la profundidad. El 2º muestreo presenta una tendencia similar en los puntos REF y 3, disminuyendo desde superficie a 5 m para mantenerse constante (punto REF) o disminuir hasta 10 m (punto 3) y disminuir levemente hasta 20 m, en el punto 17 esta tendencia cambia, disminuye hasta 10 m para aumentar hasta 20 m de profundidad (Figura 111).

El 3º muestreo tiene una tendencia similar entre superficie y 20 m en los tres puntos, pero en el punto REF se mantiene prácticamente constante de 20 a 40 m, mientras que en el punto 3 tiende a aumentar la concentración de calcio (Figura 111).

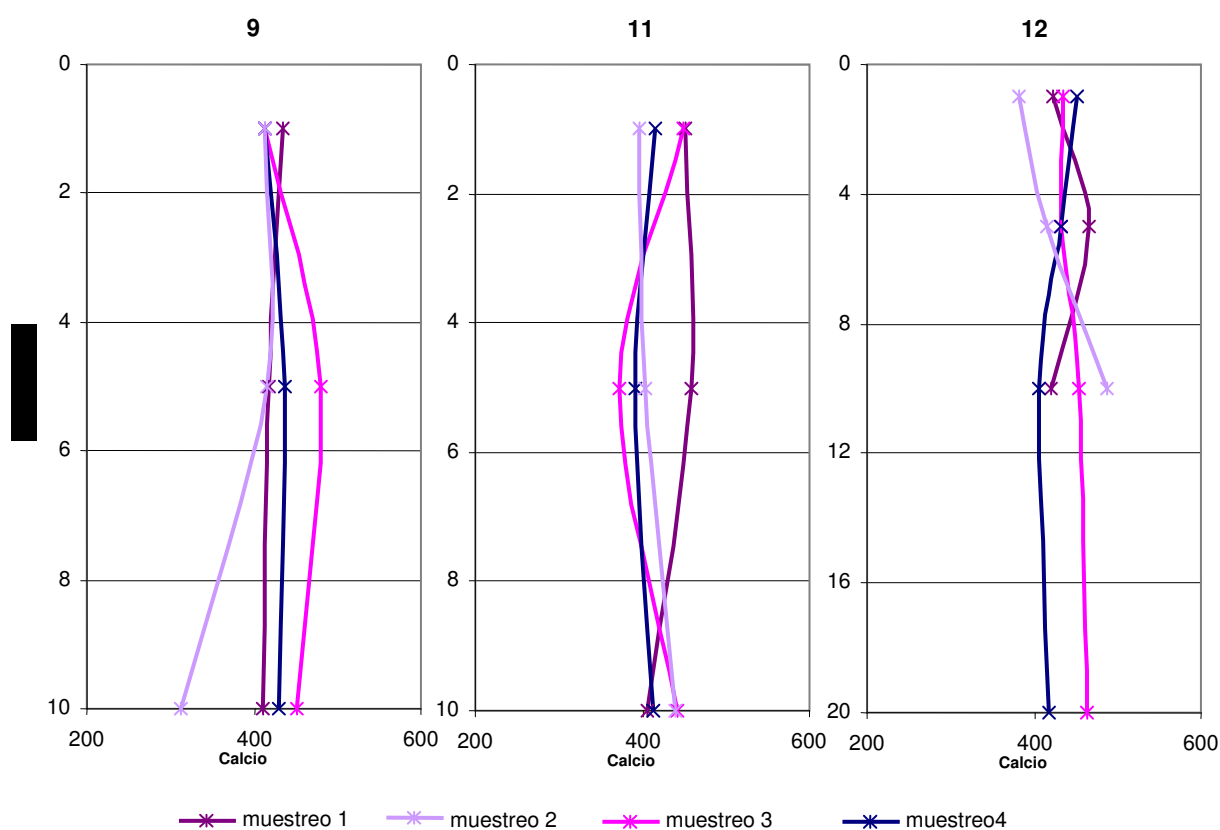


*La escala vertical del punto 17 está duplicada

Figura 111. Distribución de calcio (mg/l) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) se aprecia que en general a partir de 5 m de profundidad hay cierta tendencia a descender los valores, excepto el 2º muestreo que aumenta sus valores de calcio en los puntos 11 y 12 entre superficie y 10 m (Figura 112).

La tendencia descrita en esta zona es similar a la mostrada por la concentración de carbonatos en la misma zona (Figura 88).



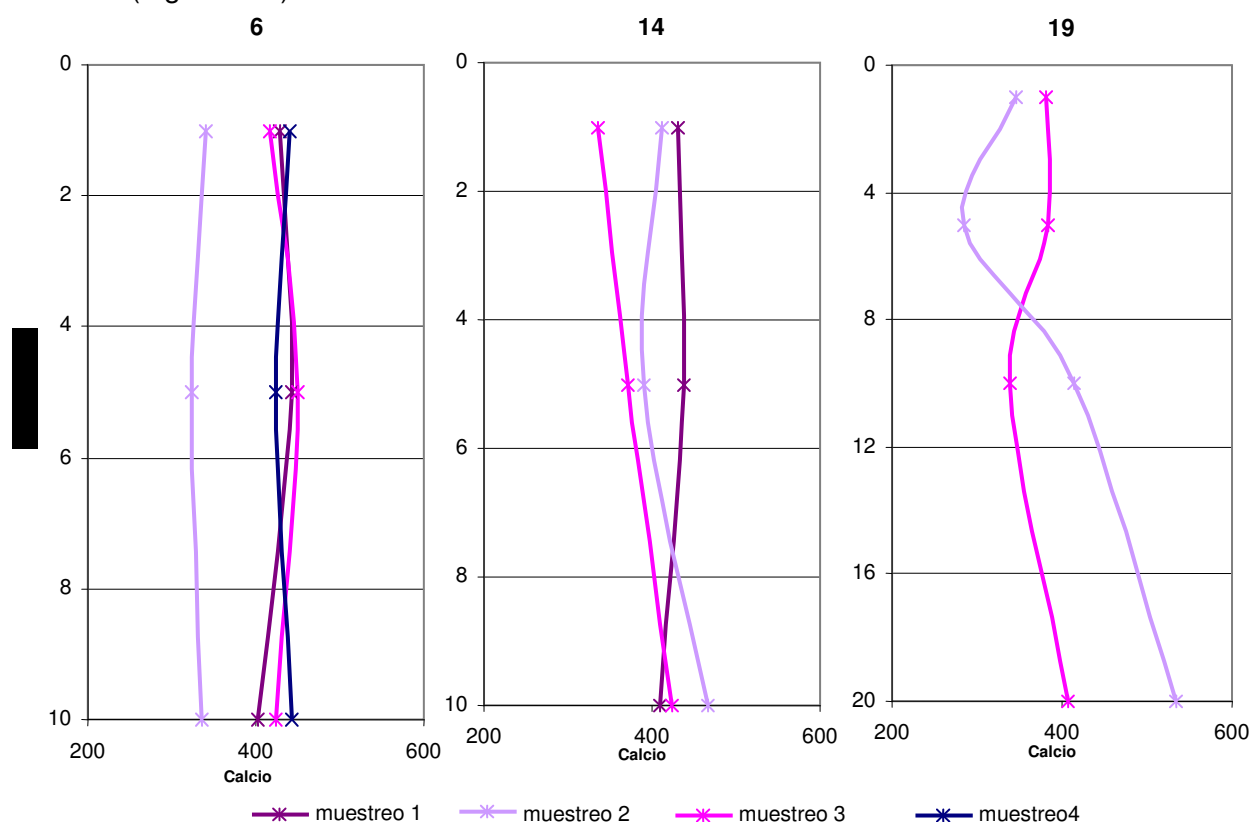
*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

Figura 112. Distribución de calcio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas en esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

La representación de concentración de calcio frente a profundidad muestra como el 2º muestreo tiene una tendencia común en todos los puntos, de superficie a 5 m disminuye para aumentar hasta llegar a la profundidad máxima de cada punto, este aumento final es muy leve en el punto 6, haciéndose más acusado en los puntos 14 y 19 (Figura 113).

El 3º muestreo presenta una tendencia contraria al 2º muestreo en los puntos 6 y 19, mostrando un crecimiento constante de superficie a 10 m en el punto 14 (Figura 113).



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 113. Distribución de calcio (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

La distribución espacial de calcio se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 114), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 37 a 40, Anexo III).

La evolución espacial de los valores de calcio muestra como los muestreos 1º y 4º son los que presentan valores más altos y es el 2º muestreo el que tiene mayor variabilidad con los valores mayores localizados, en todos los muestreos, en la zona exterior y parte de la zona de transición (Figura 114).

También en la distribución de concentración de calcio por profundidades es el 2º muestreo el que presenta mayor variabilidad, situándose los valores más altos en la zona exterior en superficie, 5 y 10 m. A la profundidad de 20 m la distribución de valores es más homogénea (Figura 38, Anexo III).

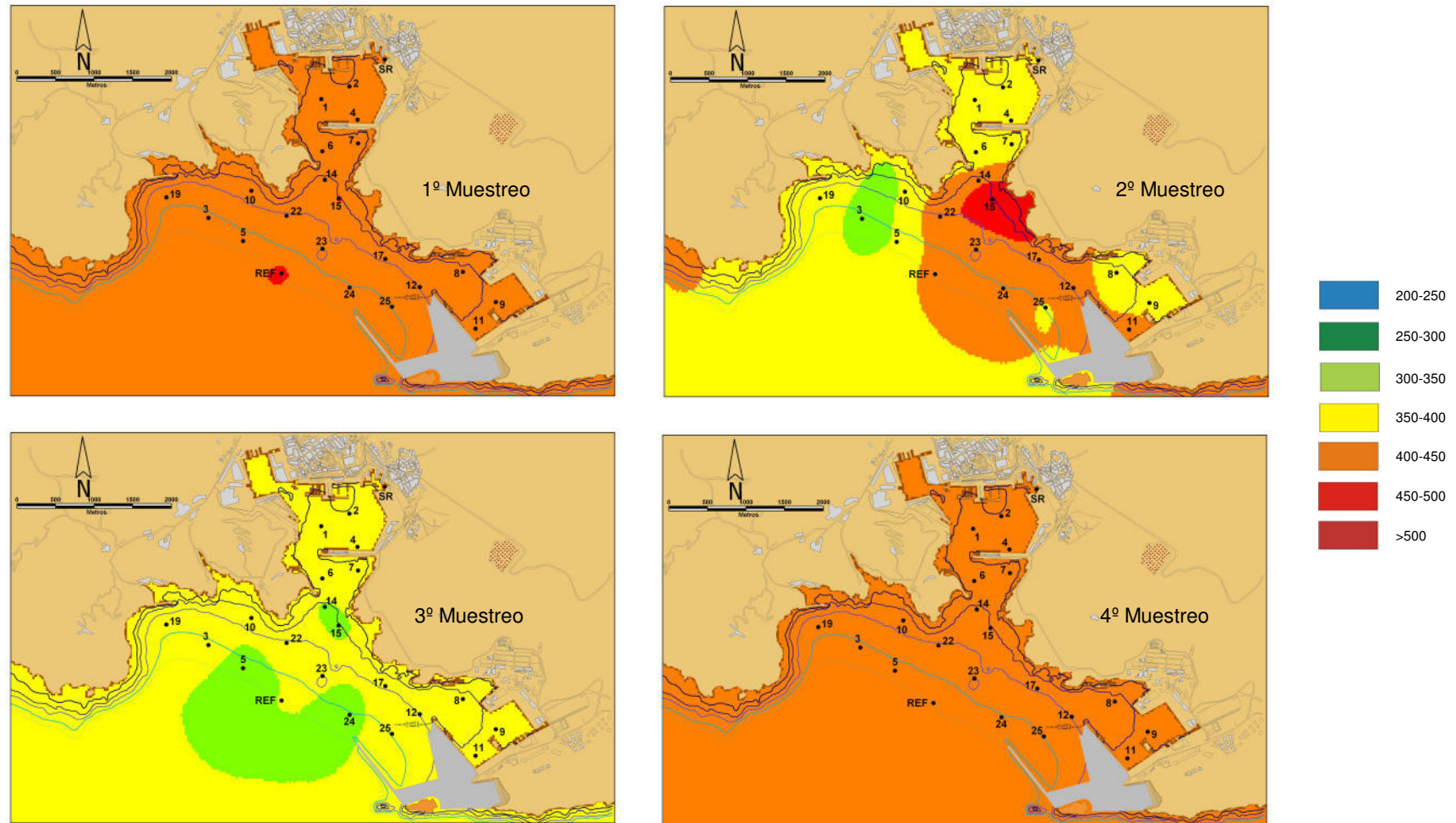


Figura 114. Distribución espacial de calcio (mg/l) en base a los valores medios para cada punto de muestreo

- Magnesio

La distribución de frecuencias de magnesio se ajusta a una distribución normal con curtosis y asimetría positivas (Figura 115). Los valores menores son de 1215 mg/l y los mayores de 1805 mg/l, siendo la media de 1430 mg/l (Figura 115).

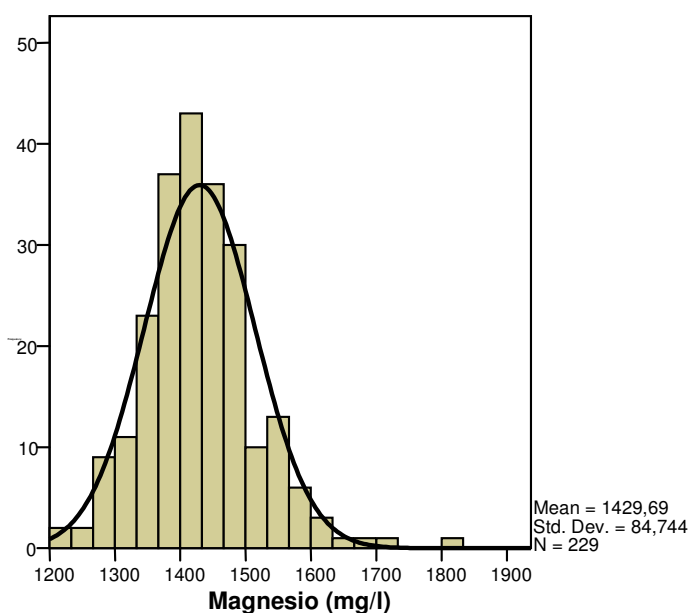


Figura 115. Distribución de frecuencias de magnesio (mg/l)

Se han representado las variaciones de concentración de magnesio con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 116 a 119).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) los valores de concentración de magnesio (Figura 116) presentan una tendencia muy similar a los valores de calcio anteriormente expuestos.

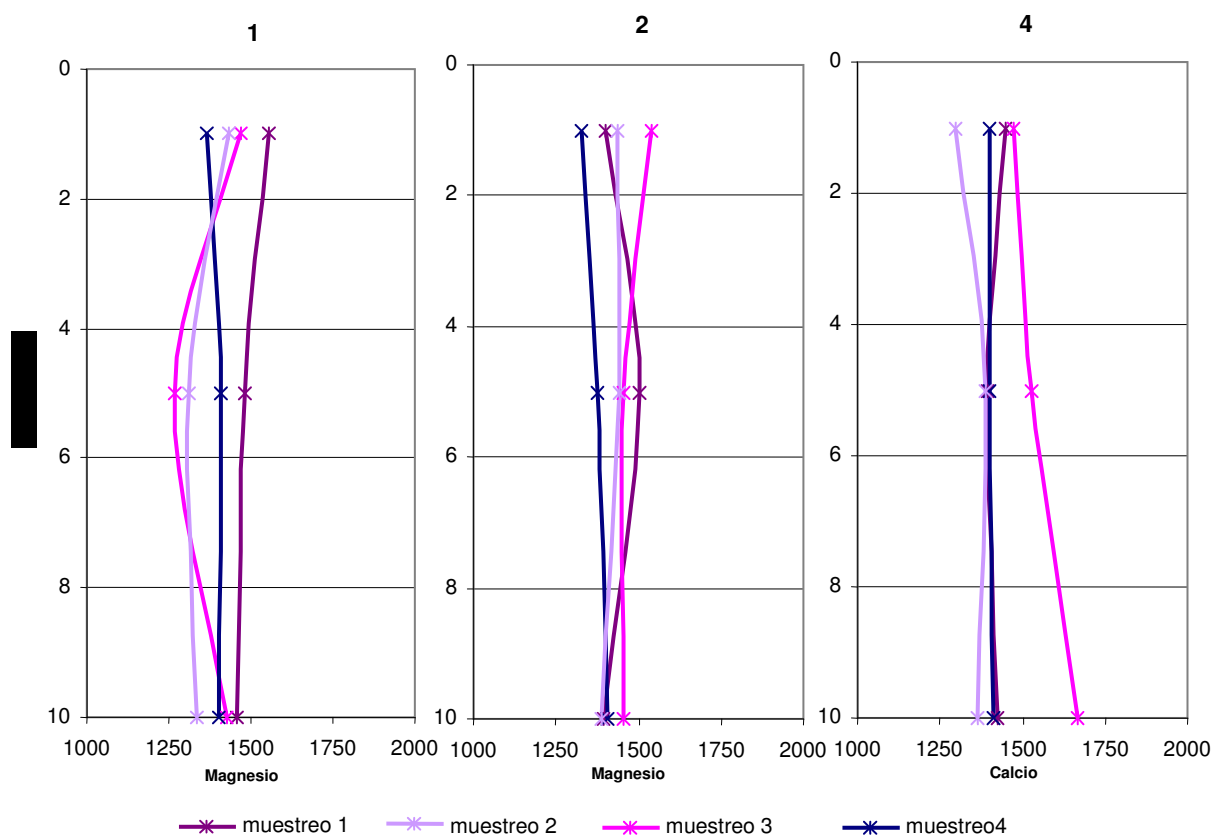
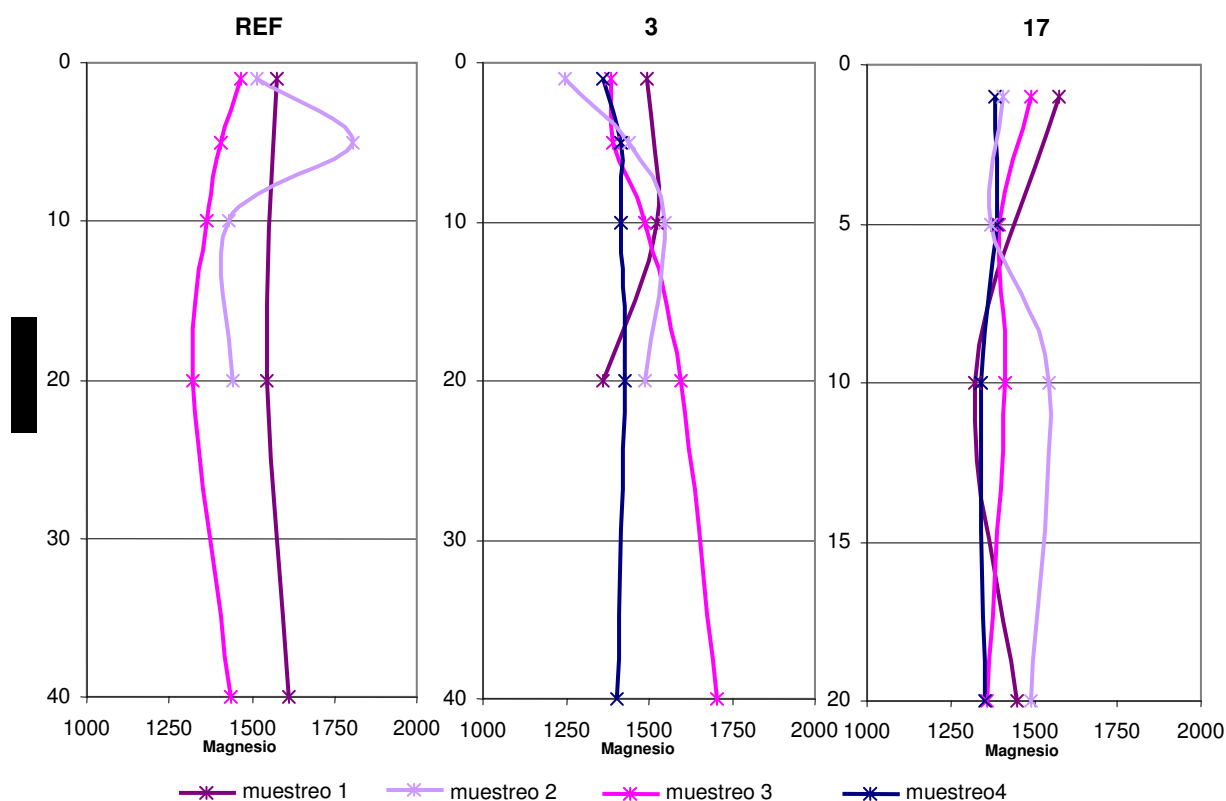


Figura 116. Distribución de magnesio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo

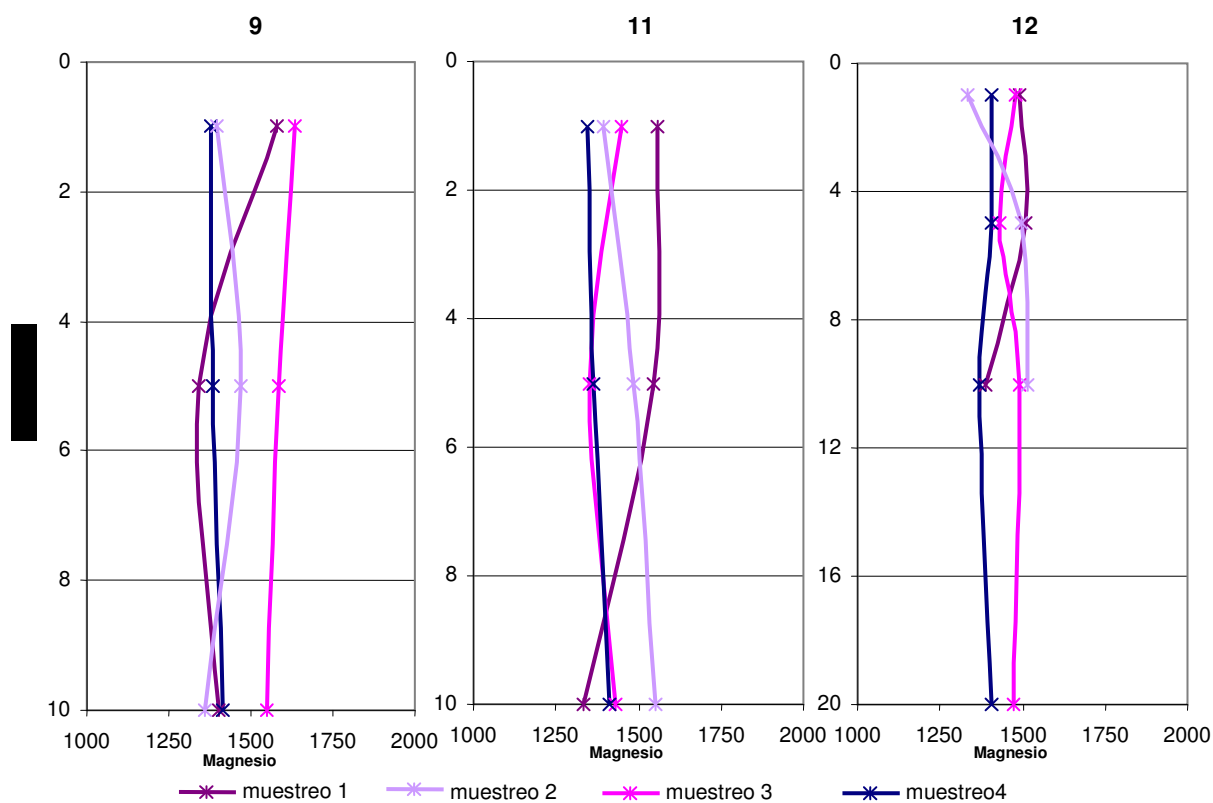
En la **zona exterior** (Masa 2) los valores de magnesio tienen tendencias diferentes tanto por muestreos, como en función de su cercanía a tierra; así en el punto REF, el más alejado de tierra, la tendencia general es a aumentar a partir de los 10 m de profundidad, mientras que en los puntos cercanos (puntos 3 y 17) la tendencia varía en función del muestreo (Figura 117). Estas tendencias son similares a las de sulfatos en la misma zona (Figura 99).



*La escala vertical del punto 17 está duplicada

Figura 117. Distribución de magnesio (mg/l) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo

En la **dársena de Escombreras** también la tendencia general es similar a la que presentan las concentraciones de calcio (Figura 118).

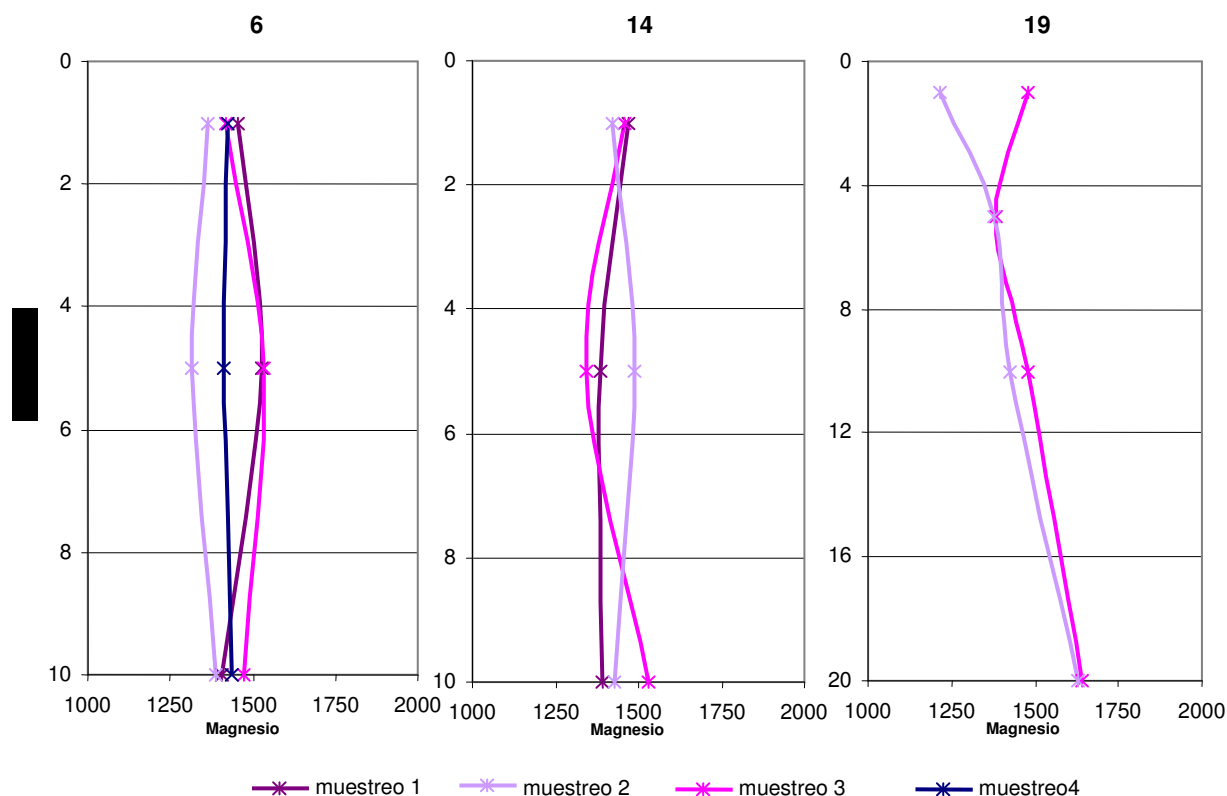


*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

Figura 118. Distribución de magnesio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras (Masa 3) para cada muestreo

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas en esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

La representación de concentración de magnesio frente a profundidad muestra como el 2º y 4º muestreo tienen una tendencia común, mientras que 1º y 3º muestreo también pero en sentido opuesto (Figura 119).



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 119. Distribución de magnesio (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

Las concentraciones de magnesio presentan tendencias similares a las tendencias de las concentraciones de calcio en ambas dársenas (Masas 1 y 3) y a las concentraciones de sulfatos en la Masa 2. En la Masa 3 el calcio parece seguir tendencias similares a los carbonatos, luego también el magnesio. Todo ello sugiere que en las zonas próximas a tierra (Masas 1 y 3) magnesio y calcio están relacionados con carbonatos, mientras que en las zonas alejadas de tierra (Masa 2) se relaciona con sulfatos, relación esta típica del agua marina (Millero, 2006).

La distribución espacial de magnesio se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 120), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 41 a 44, Anexo III).

La evolución espacial de magnesio permite observar como los valores menores y más homogéneos corresponden al 4º muestreo, mientras que los valores mayores aparecen en el 3º muestreo. El muestreo con mayor variabilidad es el 2º muestreo (Figura 120).

En la representación por profundidades los muestreos 1º, 2º y 3º tienen una variabilidad importante en todas las profundidades existiendo una evolución de los valores máximos que en superficie aparecen en la zona exterior, para pasar a zonas más próximas a tierra entre 5 y 10 m y de nuevo a 20 m situarse en la zona exterior (Figuras 41 a 43, Anexo III).

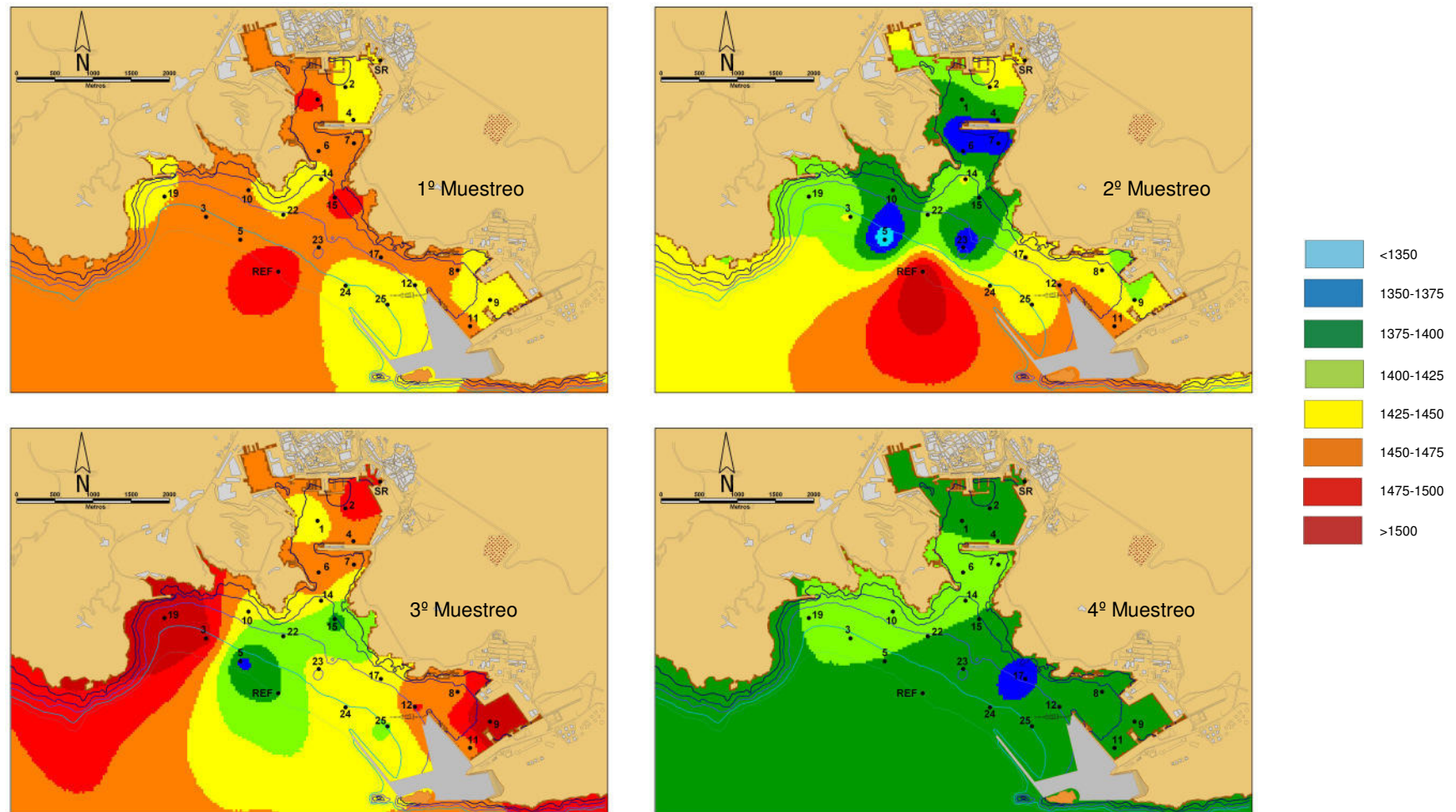


Figura 120. Distribución espacial de magnesio (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo

- Sodio

La distribución de frecuencias de las concentraciones de sodio presenta una distribución normal, curtosis positiva y asimetría negativa (Figura 121). Los valores mínimos son de 9500 mg/l y los máximos de 12850 mg/l; siendo la media de 11163 mg/l (Tabla 11, Figura 121).

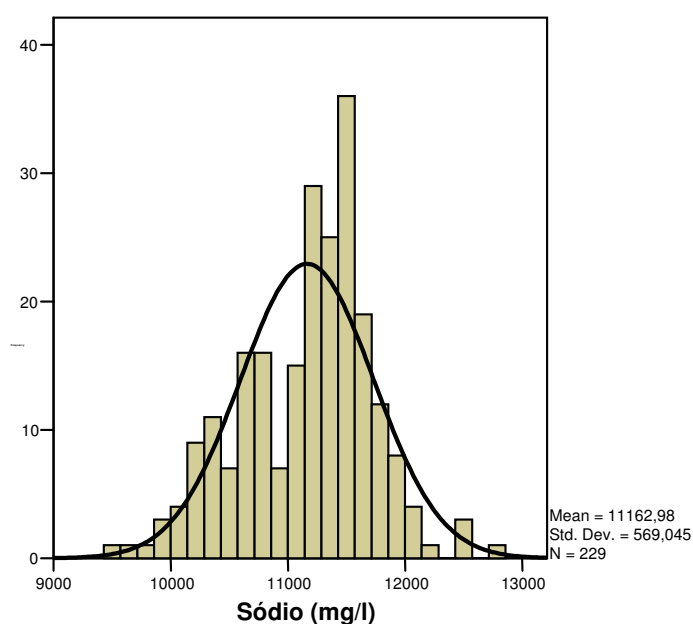


Figura 121. Distribución de frecuencias de sodio (mg/l)

Se han representado las variaciones de concentración de sodio con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 122 a 125).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) la distribución de sodio muestra como es el 1º muestreo el que tiene menores valores, mientras que el 3º muestreo es el de mayores. El 4º muestreo presenta valores muy constantes para todas las profundidades. En general parece que los valores aumentan hasta 5 m para después descender (Figura 122).

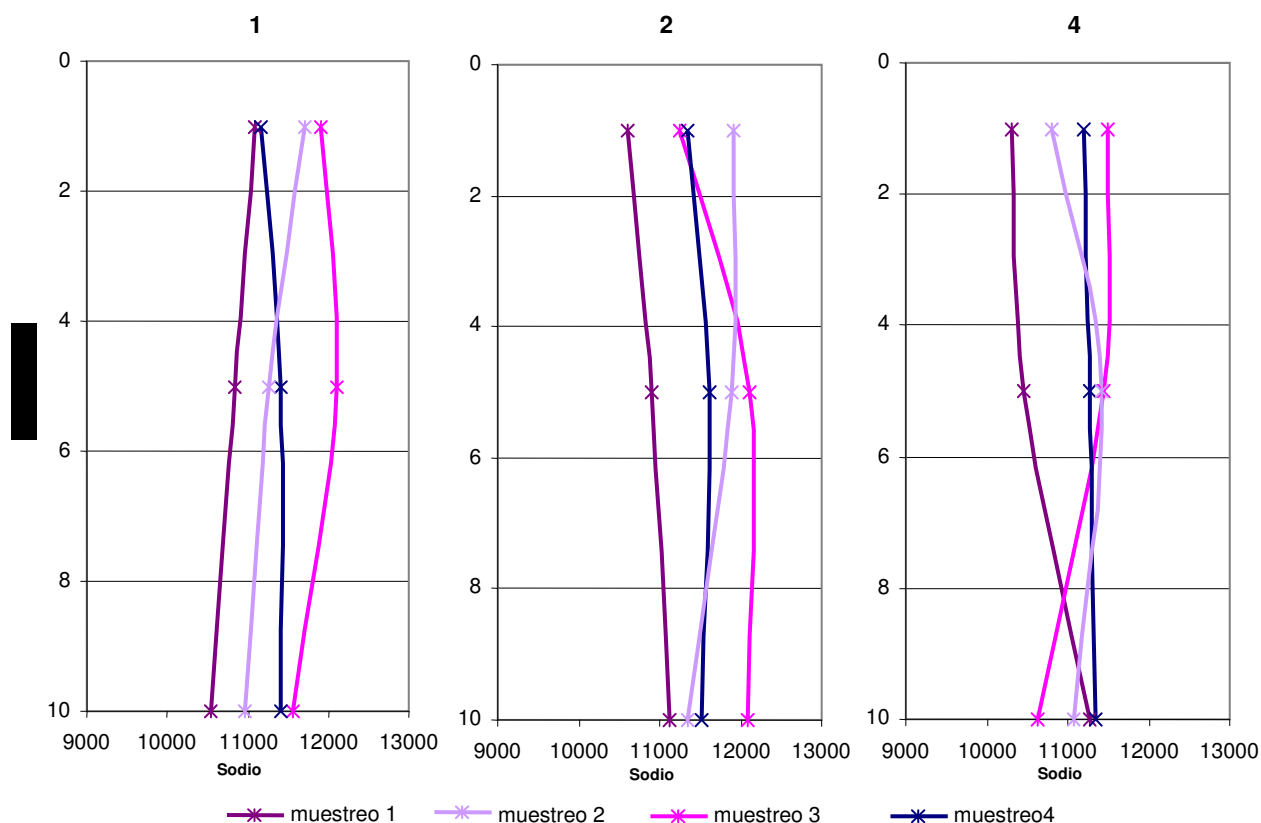
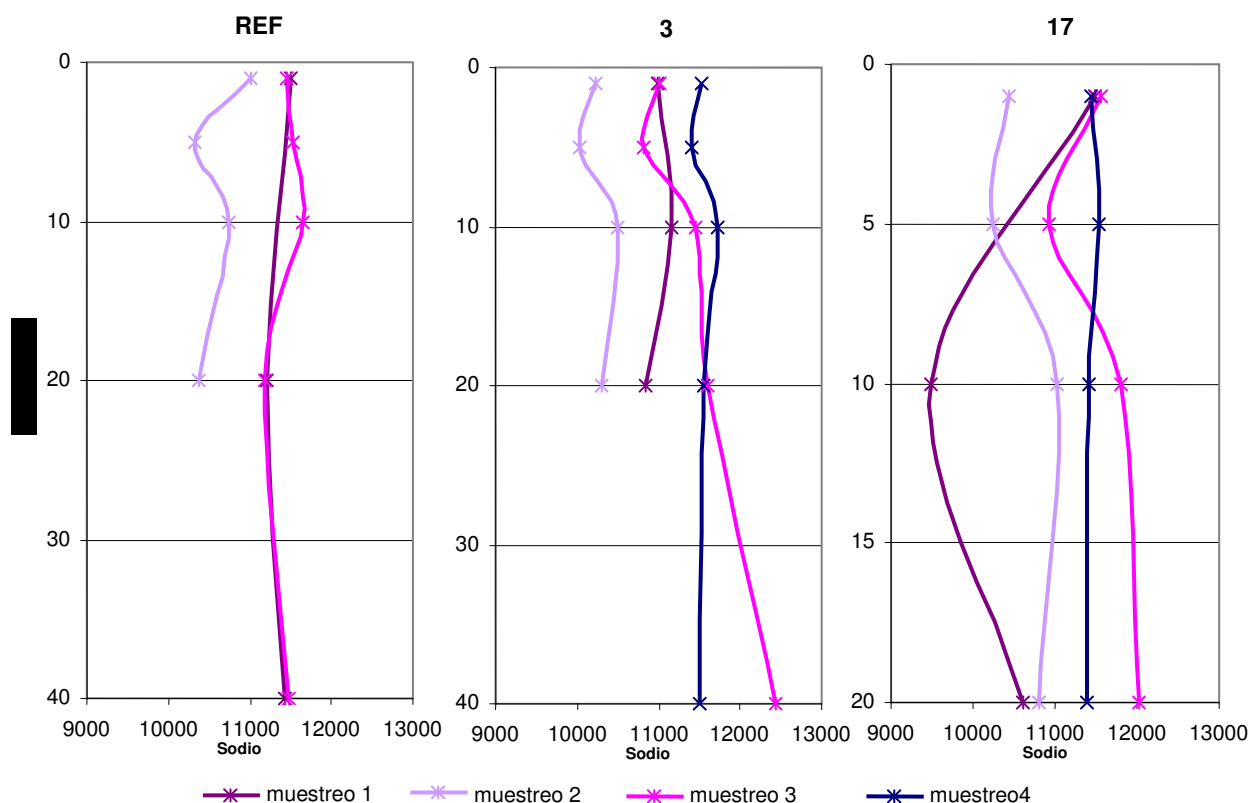


Figura 122. Distribución de sodio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo

En la **zona exterior** (Masa 2) distribución de sodio con la profundidad se aprecia como son el muestreo 4º y 3º los que presentan valores mayores y que la tendencia general es a disminuir entre superficie y 5 m de profundidad, para aumentar hasta 10 m y entonces disminuir hasta llegar a la profundidad máxima ó aumentar ligeramente en el caso del 3º muestreo (Figura 123).

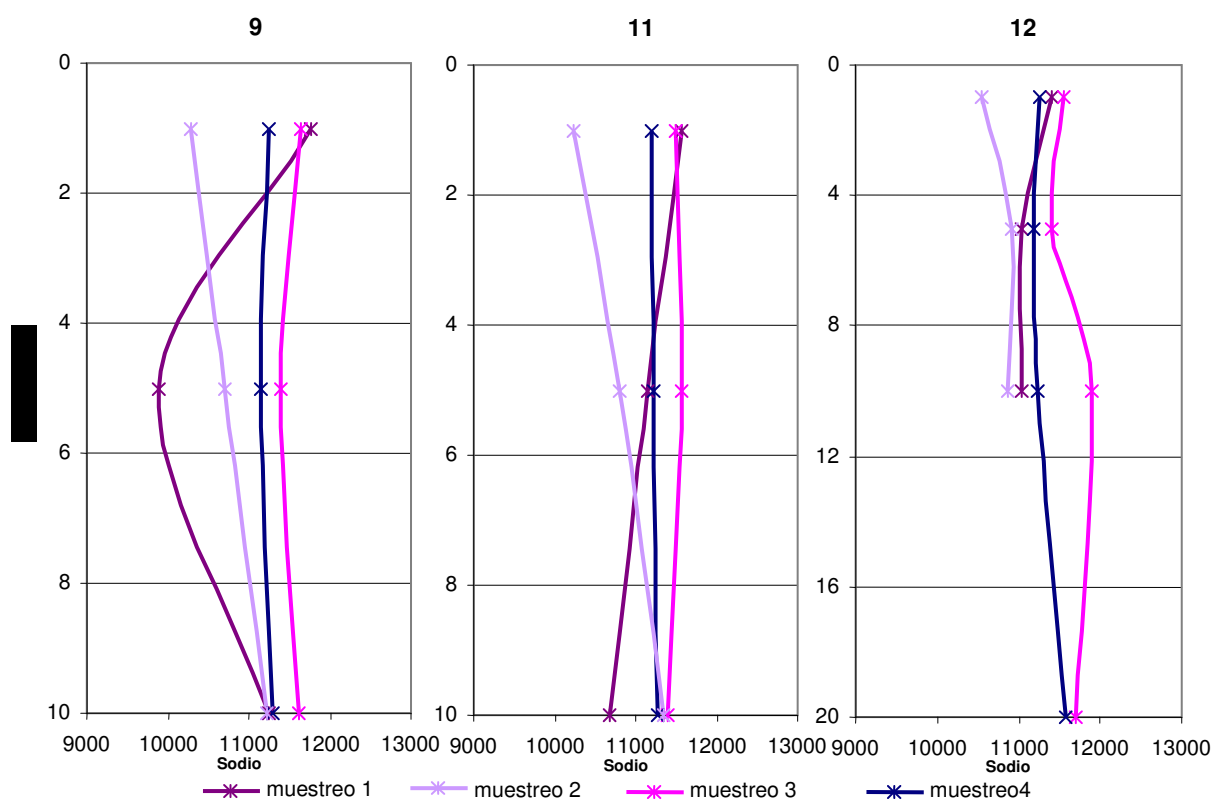
La tendencia descrita para las concentraciones de sodio es similar a la que presentan las concentraciones de cloruros en la misma zona (Figura 105).



*La escala vertical del punto 17 está duplicada

Figura 123. Distribución de sodio (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los mayores valores corresponden al 3º muestreo. Es de destacar en los puntos 11 y 12 que el comportamiento del 1º y 2º muestreo es prácticamente la imagen especular (Figura 124).

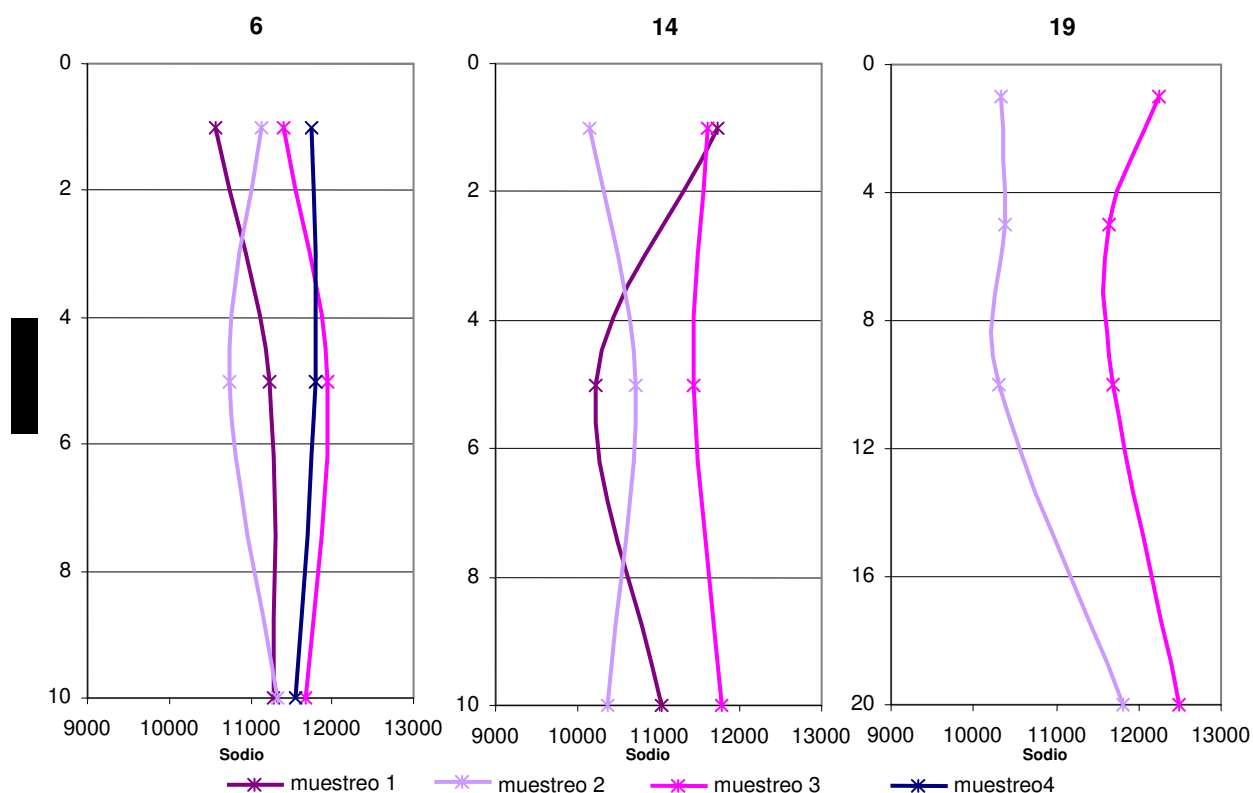


*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

Figura 124. Distribución de sodio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas en esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

La representación de concentración de sodio frente a profundidad muestra que el 1º y 3º muestreo tienen una tendencia común (Figura 125).



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 125. Distribución de sodio (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

La distribución espacial de sodio se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 126), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 45 a 48, Anexo III).

La evolución espacial de las concentraciones de sodio muestra que los valores más altos corresponden al 3º muestreo y que éstos aparecen en el interior de la dársena de Cartagena, así los valores más bajos corresponden al 2º muestreo y se sitúan entre la zona de transición y la zona exterior. Son estos dos muestreos los que también muestran la máxima variabilidad (Figura 126).

En la distribución por profundidades también se observa una elevada variabilidad en todas las profundidades para el 2º y 3º muestreo apareciendo las concentraciones de sodio menores en la zona exterior (Figuras 45 y 46, Anexo III).

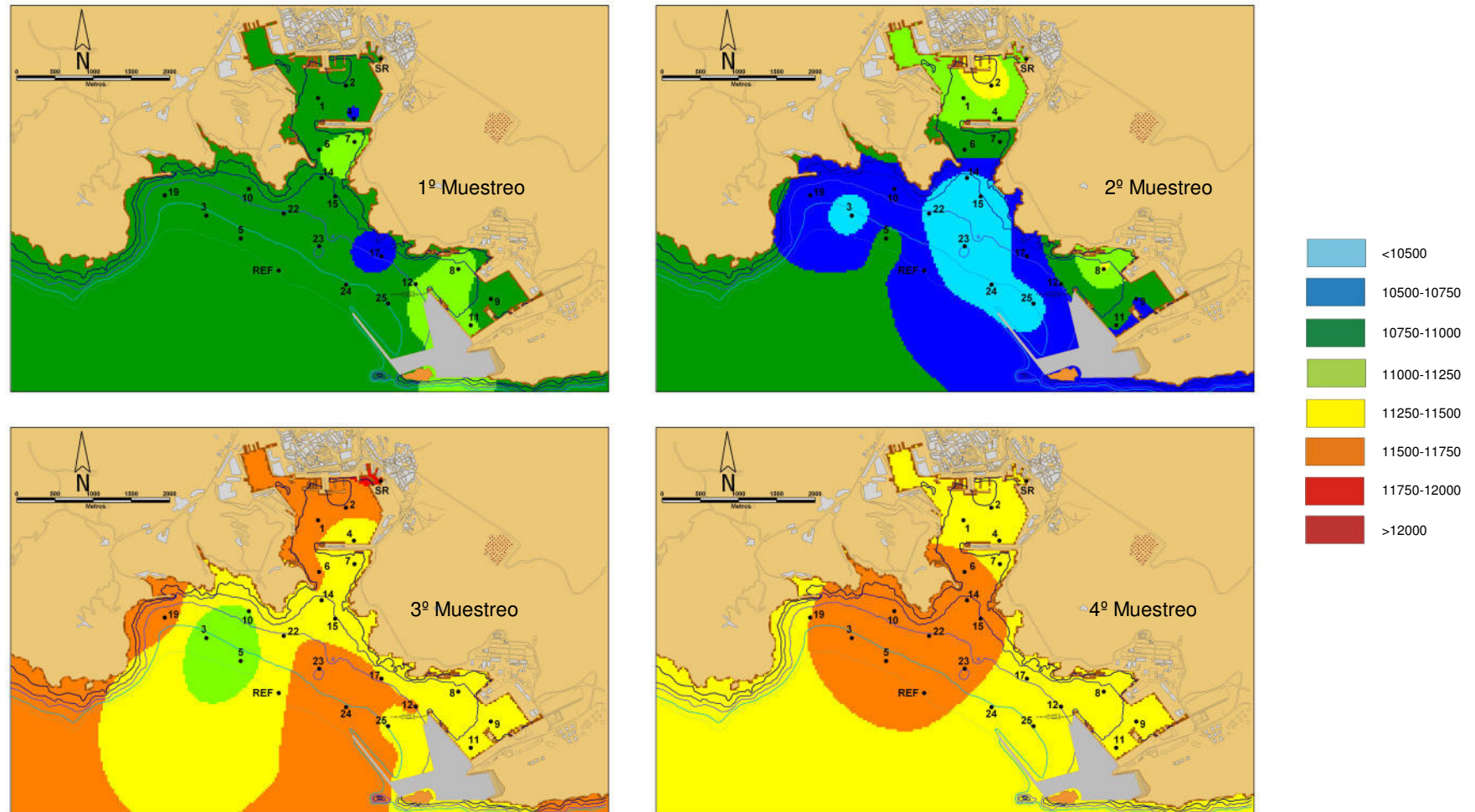


Figura 126. Distribución espacial de sodio (mg/l) en base a los valores medios de cada punto de muestreo

- Potasio

La distribución de frecuencias de los valores de potasio se ajusta a una curva normal casi perfecta con curtosis positiva y asimetría negativa (Figura 127). Los valores mínimos son de 210 mg/l, los máximos de 585 mg/l y la media es de 409 mg/l (Tabla 11, Figura 127).

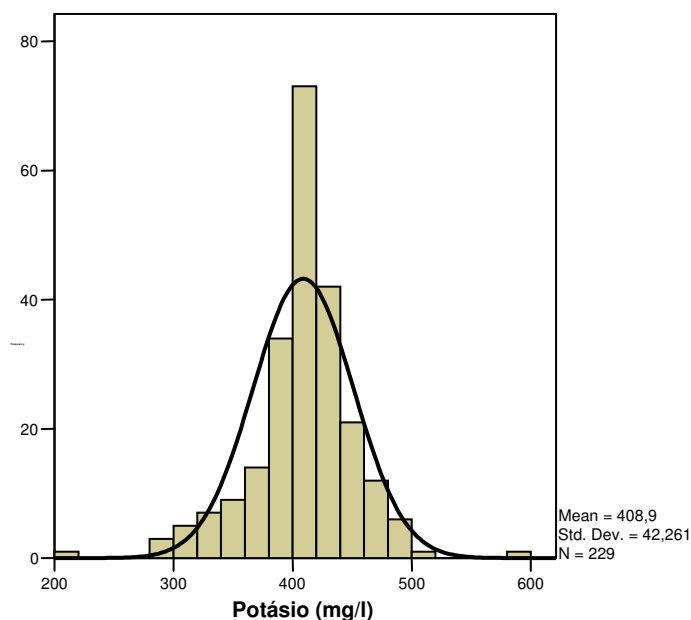
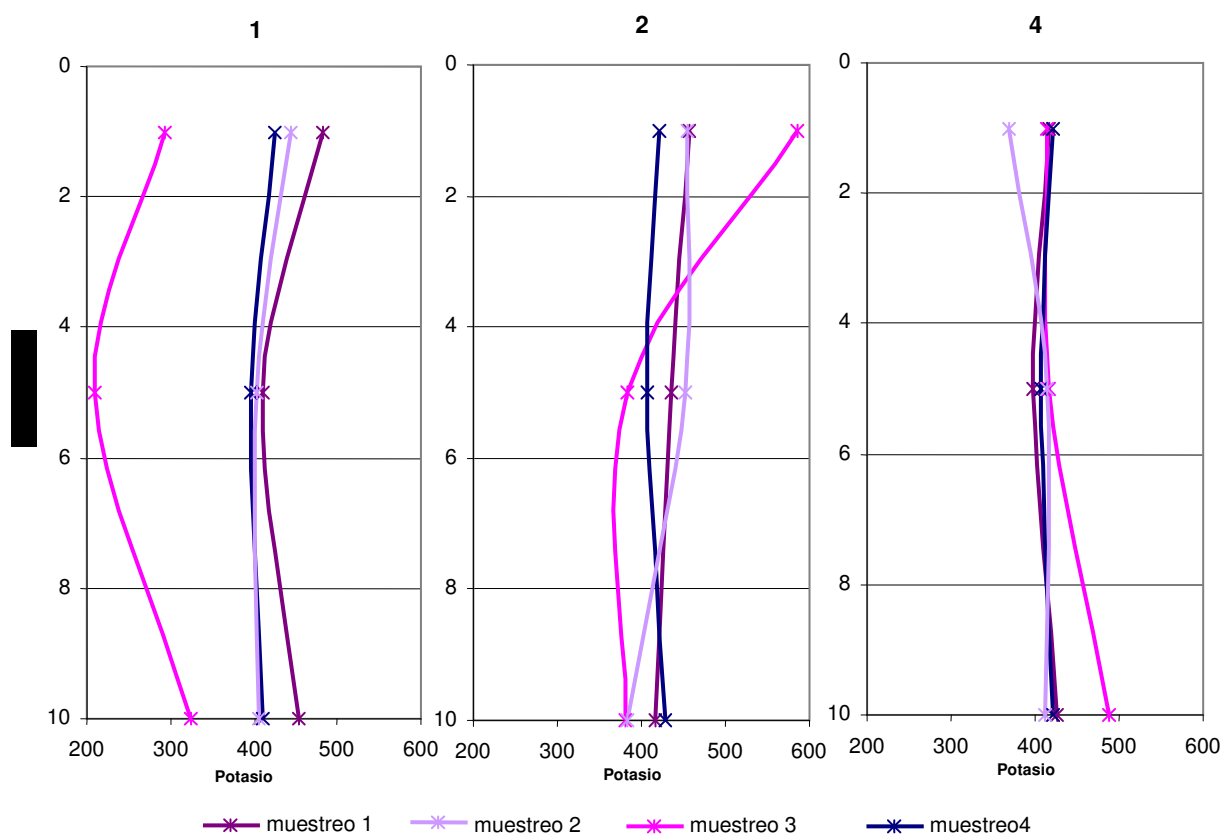


Figura 127. Distribución de frecuencias de potasio (mg/l)

Se han representado las variaciones de concentración de potasio con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 128 a 131).

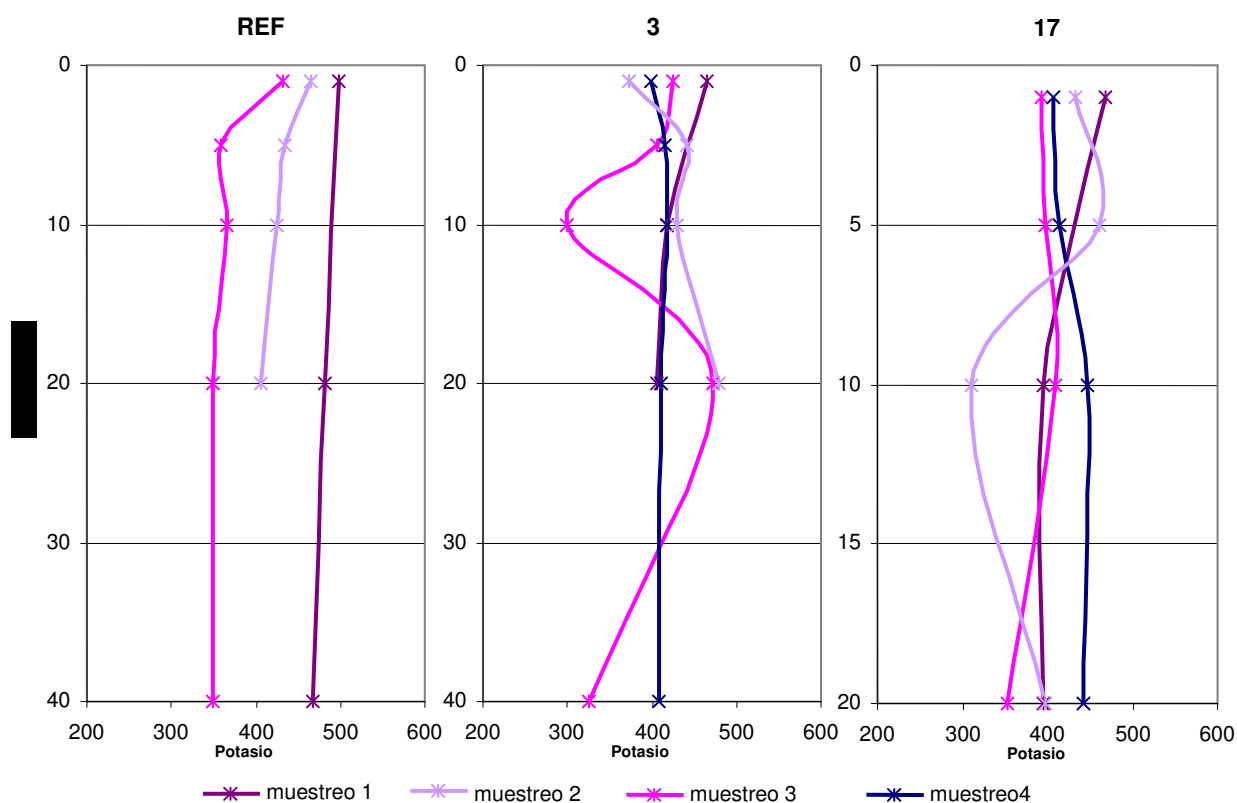
En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) se aprecia en el punto 1 una tendencia común a todos los muestreos, disminución de los valores de potasio hasta los 5 m de profundidad y aumento hasta 10 m. En los demás puntos la tendencia no es tan clara (Figura 128).

El comportamiento de las concentraciones de potasio en esta zona es la contraria de las tendencias de sodio en los mismos puntos (Figura 122).



En la **zona exterior** (Masa 2) la distribución de valores de potasio es diferente en el punto REF donde hay una clara tendencia a disminuir de superficie a fondo, que en los demás puntos donde la tendencia se mantiene en el 1º muestreo, pero varía para el 2º y 3º muestreo (Figura 129).

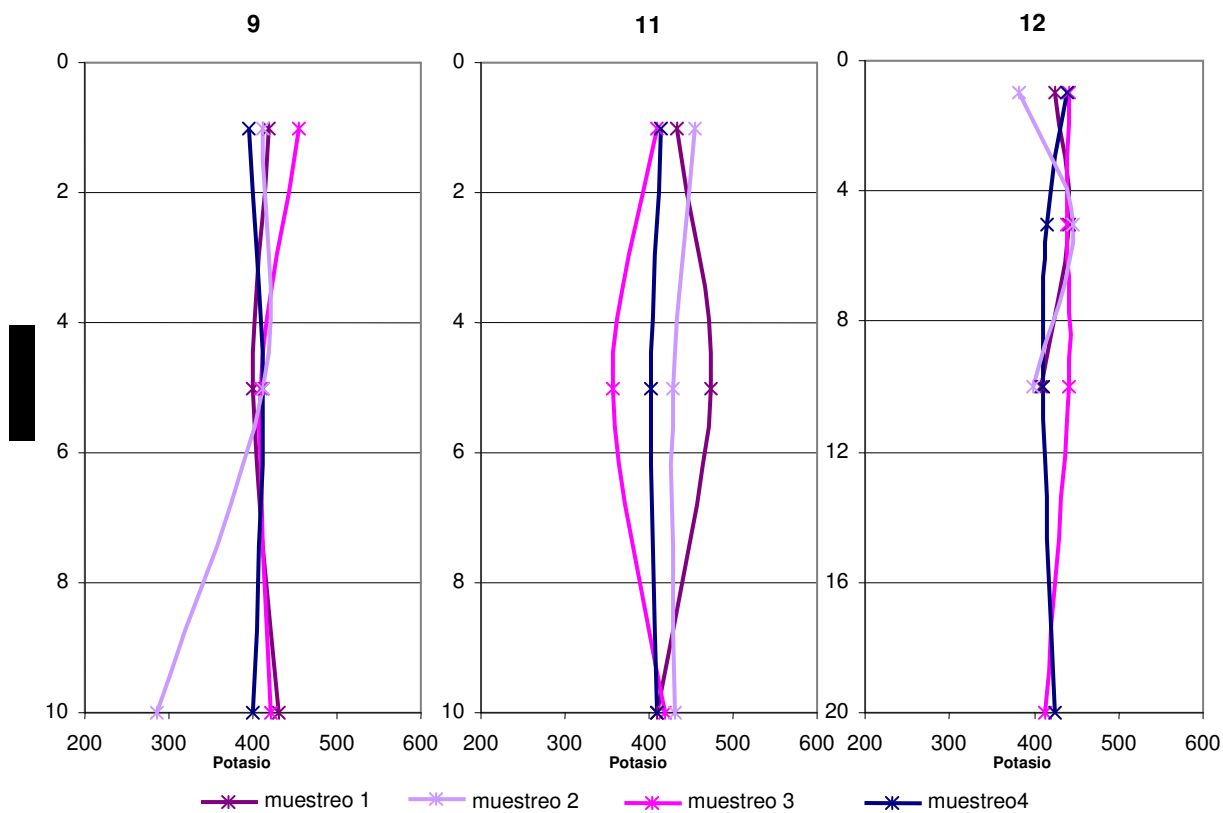
El comportamiento de las concentraciones de potasio en esta zona es la contraria de las tendencias de sodio en los mismos puntos (Figura 123).



*La escala vertical del punto 17 está duplicada

Figura 129. Distribución de potasio (mg/l) con la profundidad en la zona exterior (Masa 2) para cada muestreo

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) se aprecia de manera común a todos los puntos una gran la homogeneidad de los valores en el entorno de 400 mg/l (Figura 130).

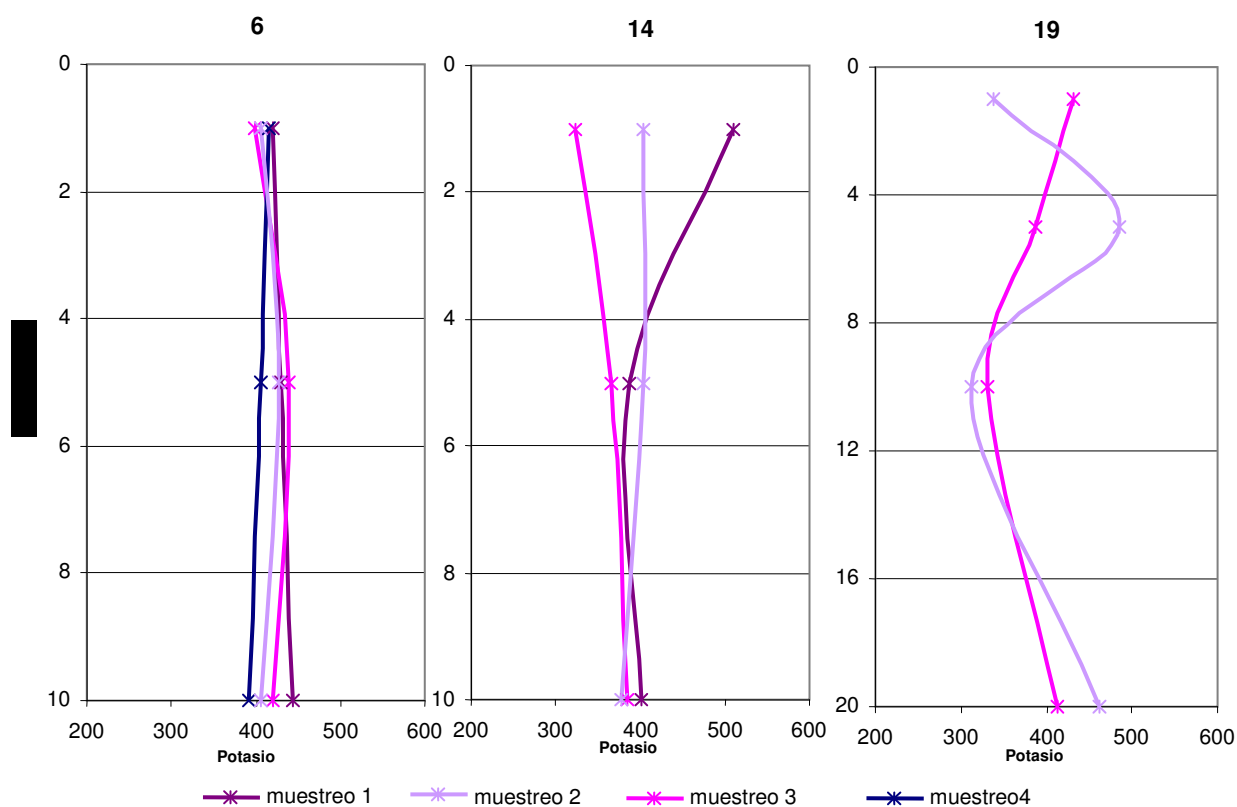


*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

Figura 130. Distribución de potasio (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo

En la **zona de transición** (Masa 4) se han seleccionado los puntos que representan cada una de las áreas incluidas en esta zona: punto 6 y 14, exterior de la dársena de Cartagena y punto 19 entorno de la Algameca (Figura 36).

La representación de concentración de potasio frente a profundidad muestra como el 1º y 3º muestreo tienen una tendencia común (Figura 131).



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 131. Distribución de sodio (mg/l) con la profundidad en la zona de transición (Masa 4) para cada muestreo.

La distribución espacial de potasio se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 132), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 49 a 52, Anexo III).

La evolución espacial muestra como los mayores valores se dan en el 1º muestreo en la zona exterior y los valores menores aparecen en el 2º y 3º muestreo. El 4º muestreo es el más homogéneo presentando los demás una buena variabilidad (Figura 132).

La representación espacial de las concentraciones de potasio por profundidades se observa como en el 1º muestreo la máxima variabilidad se da en superficie, siendo el resto de profundidades muy homogéneas. En el 2º muestreo la variabilidad se da en superficie y a 10 m, aunque los valores más altos aparecen a 5 y 20 m. En el 3º muestreo es entre superficie y 20 m donde se da una variabilidad destacable. El 4º muestreo es muy homogéneo en todas las profundidades (Figuras 49 a 52, Anexo III).

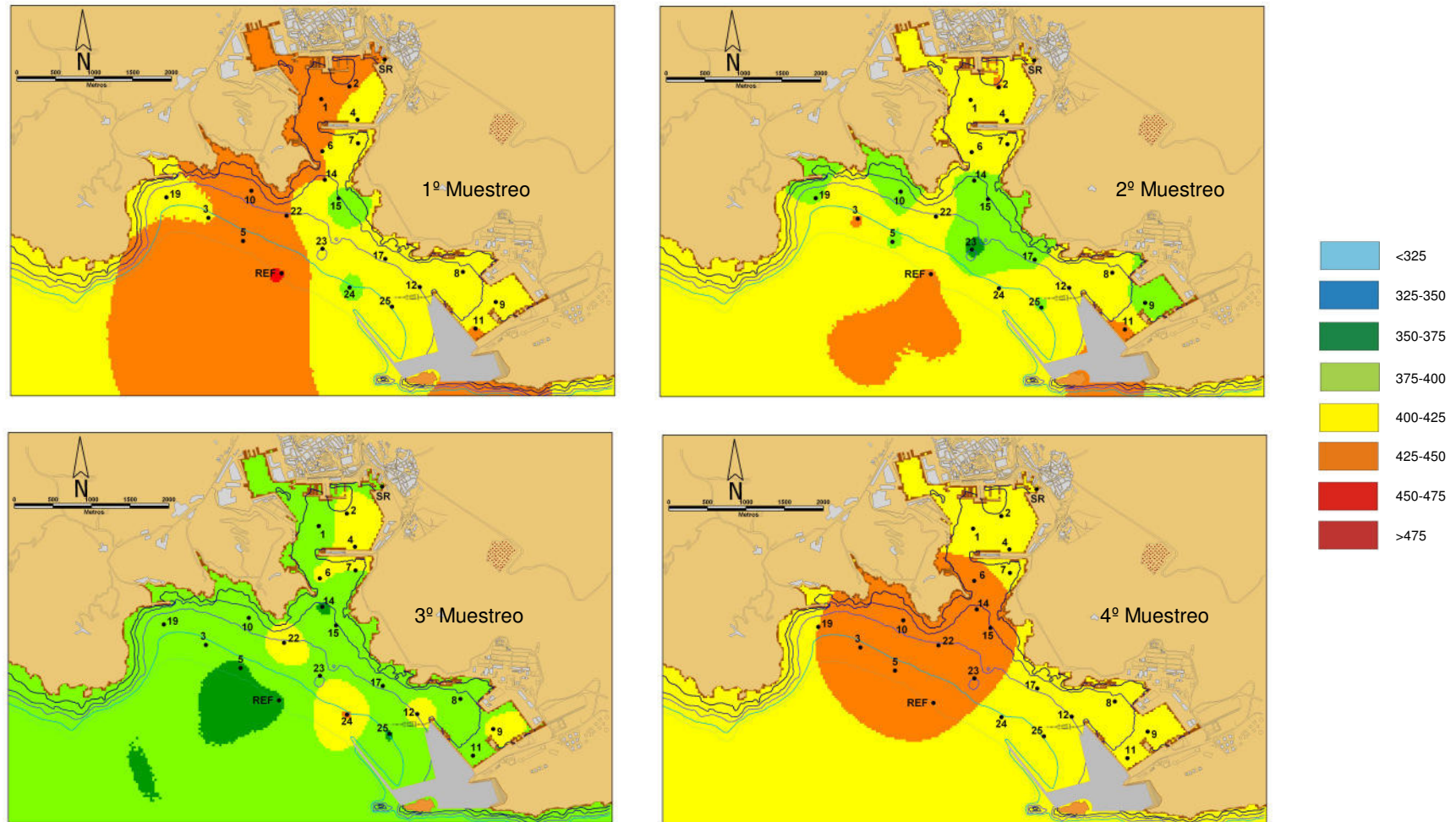


Figura 132. Distribución espacial de potasio (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo

Las relaciones existentes entre los iones mayoritarios no parecen poder extrapolarse a la totalidad del área de estudio, están limitadas a cada una de las masas de agua definidas. En la Masa 1 y 3 las concentraciones de magnesio siguen una tendencia común con las concentraciones de calcio, y estas con las de carbonatos.

En la Masa 2 las concentraciones de magnesio siguen una tendencia común con las de sulfatos, esto unido a que en la propia Masa 2 es donde claramente las concentraciones de sodio se relacionan con las de cloruros, son dos características típicas de las aguas marinas (Millero, 2006), parece indicar que en el interior de las dársenas (Masas 1 y 3) debido a diferentes procesos (evaporación, descarga de aguas continentales, vertidos, etc.) las características generales de las aguas difieren de las típicas de aguas marinas.

8.4.1.3. Metales Pesados

Los metales pesados pueden dividirse dos tipos, aquellos esenciales para el metabolismo de los organismos en pequeñas concentraciones, pero que pueden resultar tóxicos en elevadas concentraciones, como hierro y cobre, y aquellos que no tienen función metabólica alguna y son tóxicos en bajas concentraciones, como cadmio, plomo y mercurio (Kennish, 2000).

En general tienden a comportarse como los nutrientes con la profundidad, ya que son retirados del medio en superficie por el placton o son retenidos por la materia orgánica en suspensión, para ser reintroducidos en el medio en las aguas próximas al fondo debido a la oxidación biológica de la materia orgánica de los sedimentos (Millero, 2006).

En otros casos, como el plomo, las condiciones de oxidación del medio pueden generar especies insolubles de estos elementos dando lugar a su inmovilización en los sedimentos, siempre que las mismas no se vean alteradas (Millero, 2006).

Se describen a continuación los resultados obtenidos para metales pesados, ordenados estos de mayor a menor concentración en las muestras analizadas.

- Hierro

La distribución de frecuencias de los valores de concentración de hierro es similar a una función *chi-cuadrado*. La mayor distribución de frecuencias se sitúa hacia los valores menores (0-0,10 mg/l), situándose los valores mayores en 0,70 mg/l, y siendo la media de 0,07 mg/l (Figura 133).

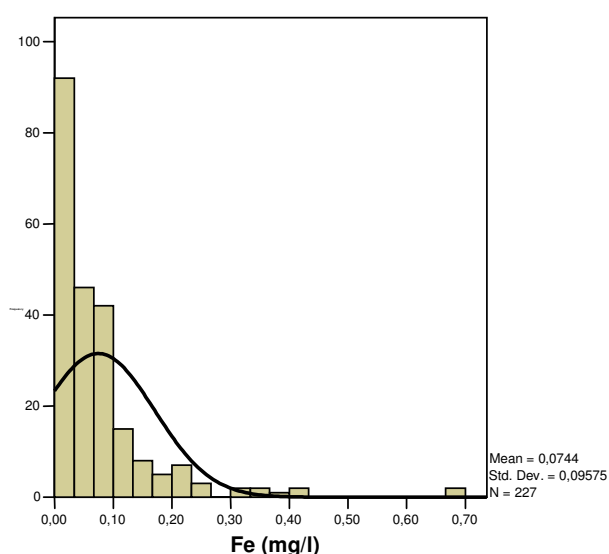


Figura 133. Distribución de frecuencias de hierro (mg/l)

Para poder analizar mejor la distribución de frecuencias de la concentración de hierro se toma la desviación estándar para este parámetro (0,09 mg/l, Tabla 11) y se le suma al valor de la media (0,07 mg/l) obteniendo 0,16 mg/l, valor a partir del cual se consideran valores anómalos (Pérez, 2004) que se eliminan de la representación de frecuencias (Figura 134).

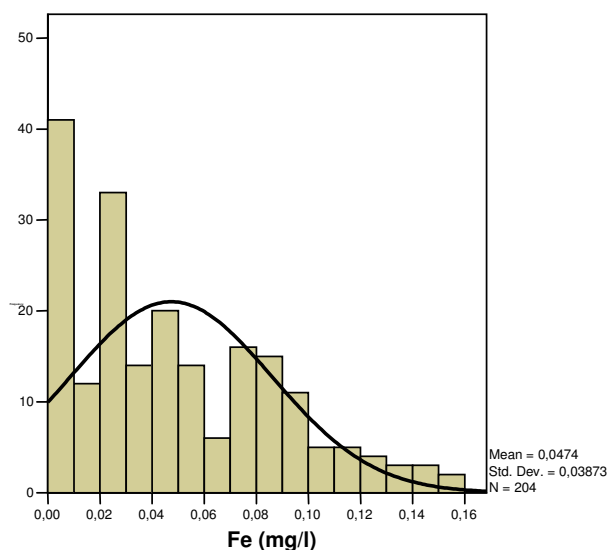


Figura 134. Distribución de frecuencias de hierro para muestras con valores inferiores a 0,16 mg/l

Se obtiene así una distribución de frecuencias más próxima a una normal, aunque la máxima frecuencia corresponde de nuevo a valores próximos a cero. La media se desplaza a 0,05 mg/l (Figura 134). Esta nueva media puede indicar los valores de fondo de la zona de estudio, sumándole la desviación estándar (0,04 mg/l, Figura 134) se obtiene un valor de 0,09 mg/l, valor por encima del cual se está fuera de los valores de fondo de la zona de estudio.

Se han representado las variaciones de concentración de hierro con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 135 a 138).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) es el 3º muestreo el que presenta valores mayores y el 4º muestreo el que presenta los menores. En el punto 4 los valores son más homogéneos para cada muestreo, mientras que en los demás puntos la tendencia general es a descender con la profundidad a partir de 5 m de profundidad (Figura 135).

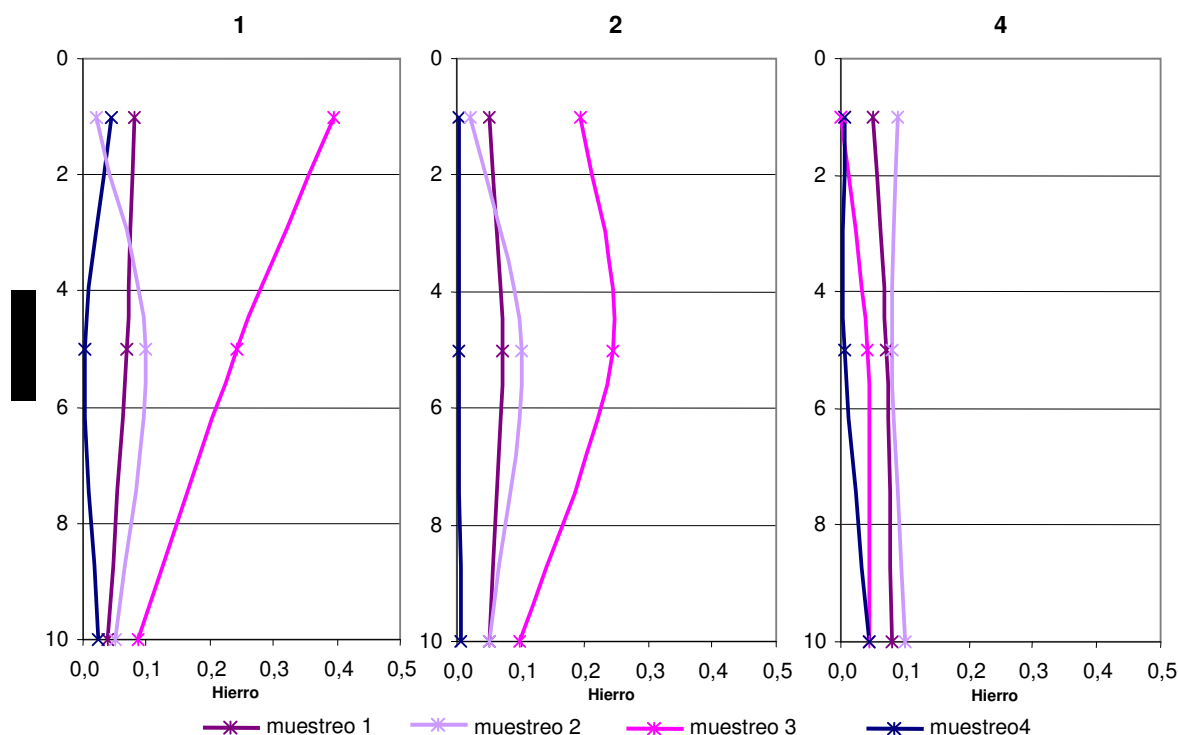


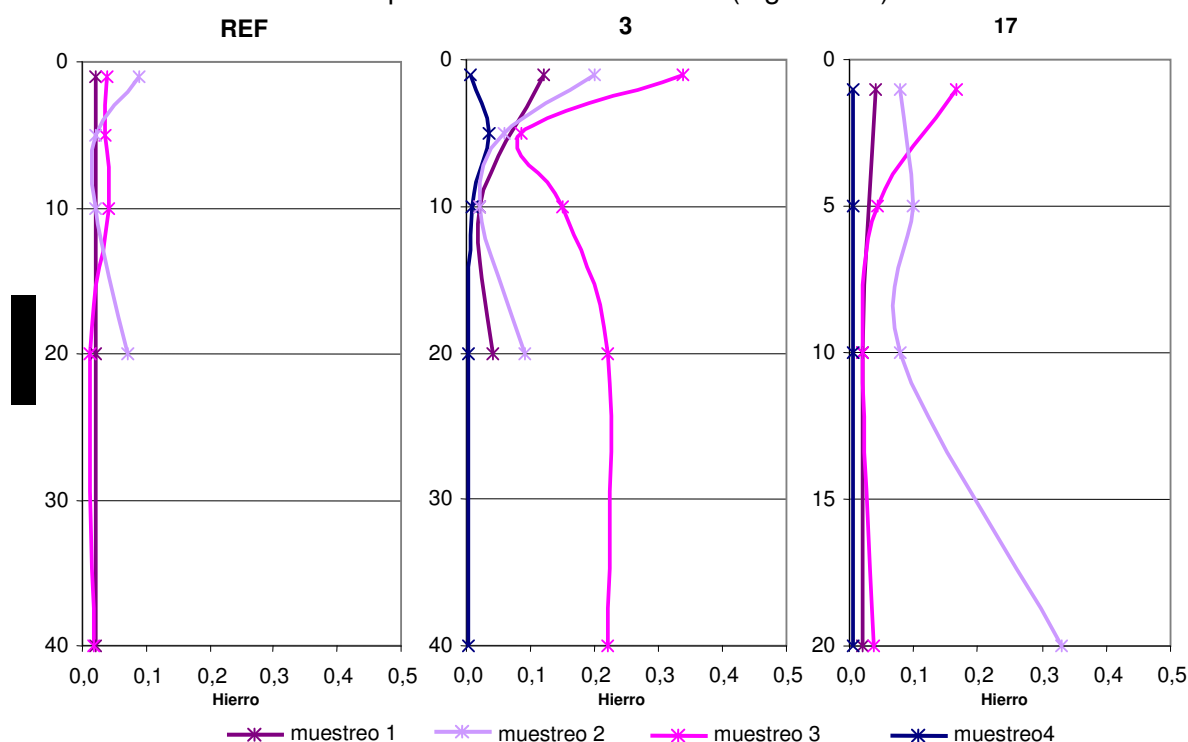
Figura 135. Distribución de hierro (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo

La mayoría de los valores son menores de 0,1 mg/l, están dentro de los valores de fondo de la zona de estudio, excepto en los puntos 1 y 2 entre superficie y 5 m donde los valores son mayores de 0,2 mg/l (Figura 135).

La tendencia general en la dársena de Cartagena es inversa a la que presenta la misma zona para los valores de sulfatos frente a la profundidad (Figura 98), cuando aumentan los valores de hierro descenden los de sulfatos.

En la **zona exterior** (Masa 2) la tendencia general es a permanecer prácticamente constante (puntos REF y 17), excepto en el 2º muestreo donde se observa un descenso hasta 10 m para luego aumentar hasta 20 m (Figura 136).

En el punto 3, excepto el 4º muestreo, la tendencia general es a disminuir de superficie a 5 m para aumentar hasta 20 m de profundidad y entonces mantener unos valores prácticamente constantes (Figura 136).



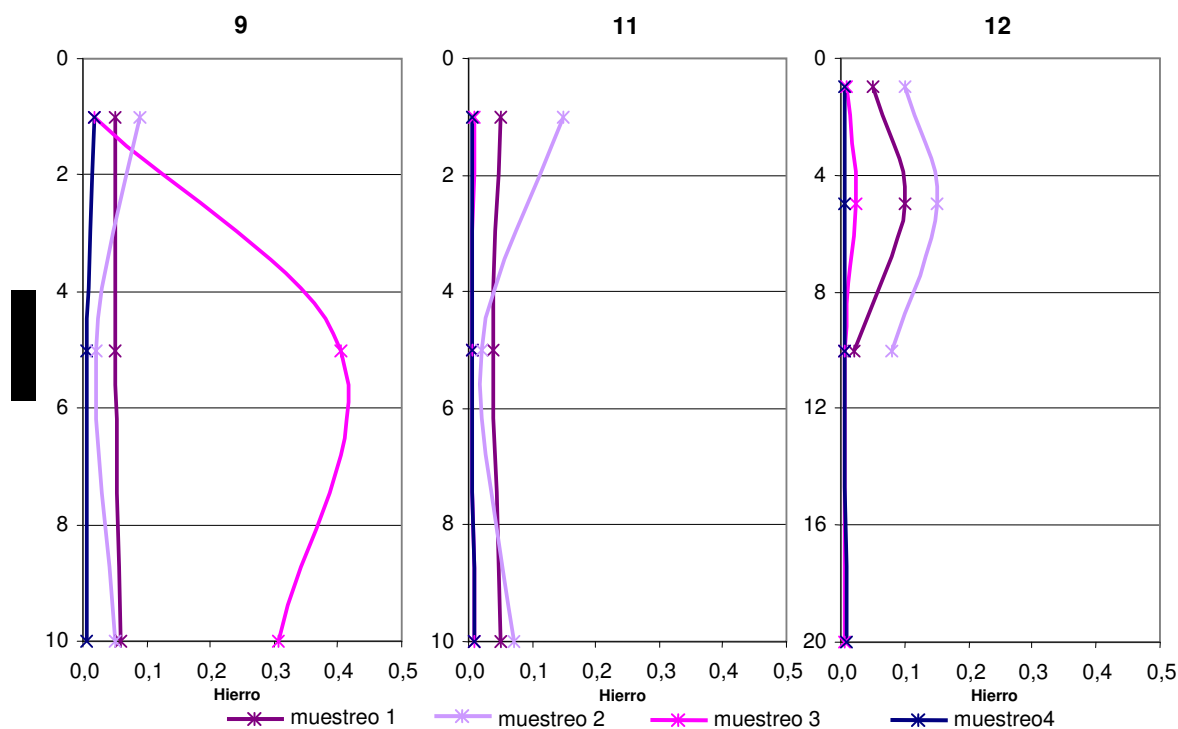
*La escala vertical del punto 17 está duplicada

Figura 136. Distribución de hierro (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo

El 4º muestreo es el que presenta valores menores, al igual que en la dársena de Cartagena (Figura 135).

La mayoría de los valores son menores de 0,05 mg/l, están dentro de los valores de fondo de la zona de estudio y son menores que en la dársena de Cartagena (Figura 135), excepto en los puntos 3, 3º muestreo, y 17, 2º muestreo entre superficie y 5 m donde los valores son mayores (Figura 136).

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) es el 4º muestreo el que presenta valores menores y más constantes al igual que el 1º muestreo. El 2º muestreo se comporta de manera similar en los puntos 9 y 11 disminuyendo las concentraciones de hierro entre superficie y 5 m para aumentar ligeramente hasta 10 m, en el punto 12 la tendencia es la contraria. Los mayores valores los presenta el 3º muestreo en el punto 9, en superficie presenta valores similares al resto para aumentar significativamente hasta 5 m y disminuir de nuevo hasta 10 m de profundidad (Figura 137).

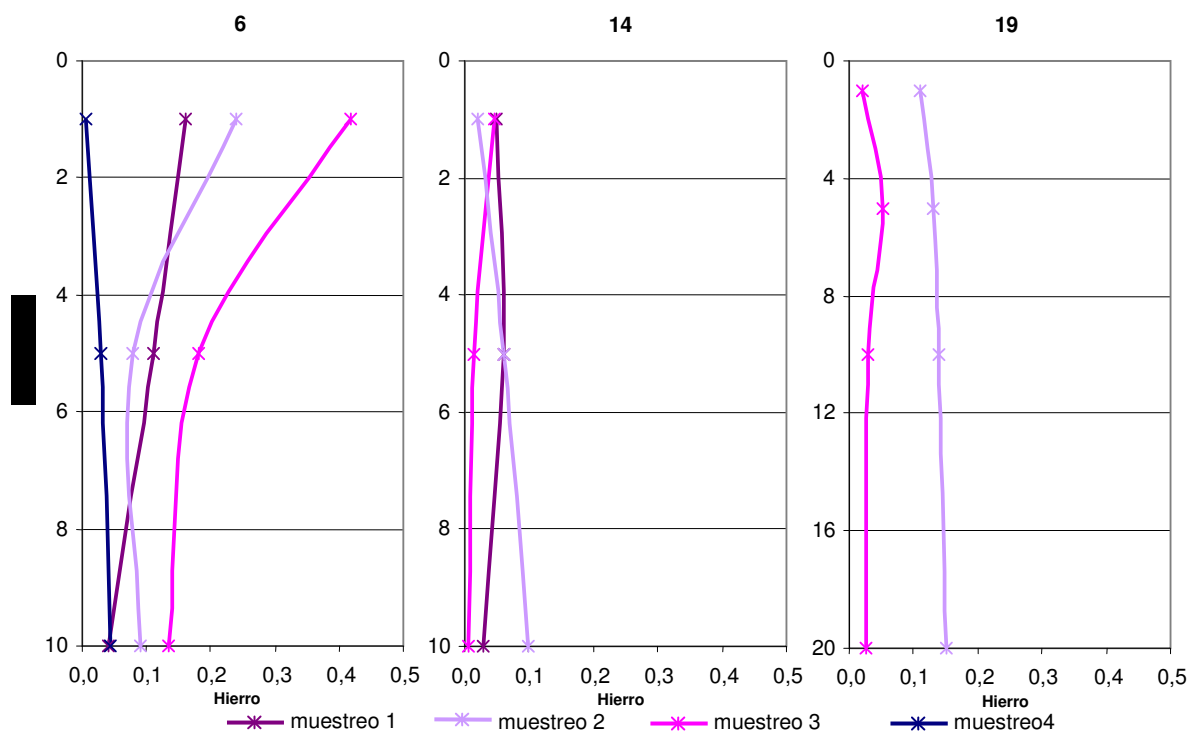


*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

Figura 137. Distribución de hierro (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo

La mayoría de los valores son menores de 0,1 mg/l, están dentro de los valores de fondo de la zona de estudio y son similares a la dársena de Cartagena (Figura 135), excepto en el punto 9, 3º muestreo, entre 5 y 10 m donde los valores son mayores de 0,3 mg/l (Figura 137).

En la **zona de transición** (Masa 4) la tendencia general en los puntos 6 y 14 es a disminuir de superficie a 5 m para luego mantenerse prácticamente constante hasta 20 m de profundidad. En el punto 19 la tendencia varía en función del muestreo, así el 2º muestreo aumenta de superficie a 20 m, mientras que el 3º muestreo aumenta hasta 5 m para luego disminuir hasta 10 m y finalmente mantenerse constante hasta alcanzar los 20 m de profundidad (Figura 138).



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 138. Distribución de hierro (mg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo

La mayoría de los valores son menores de 0,1 mg/l en profundidad y por lo tanto están dentro de los valores de fondo de la zona de estudio. Sin embargo los valores de superficie para el punto 6 son mayores de 0,1 en todos los muestreo excepto el 4º. El 2º muestreo en el punto 19 es mayor de 0,1 mg/l de superficie a fondo (Figura 138).

La tendencia general en la zona de transición es la inversa a la que presenta la misma zona para los valores de sulfatos frente a la profundidad (Figura 101), cuando aumentan los valores de hierro descenden los de sulfatos.

La distribución espacial de hierro se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 139), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 53 a 56, Anexo III).

La evolución espacial muestra como los menores valores aparecen en el 4º muestreo de forma homogénea y los valores mayores aparecen en el 2º y 3º muestreo, en zonas muy concretas, Masas 1 y 2, debido a que son estos dos muestreos los que presentan mayor variabilidad (Figura 139).

La distribución espacial de los valores máximos de hierro coinciden con los valores mínimos de pH (2º muestreo) e igual ocurre para los valores mínimos (4º muestreo), existe por lo tanto una relación inversa entre hierro y pH de modo que el aumento de pH deriva en un descenso de las concentraciones de hierro (Figuras 42 y 139).

Comparando los valores del 2º muestreo de hierro y clorofila A (Figuras 72 y 139) se observa como son similares, al aumento de clorofila A se corresponde, en este muestreo, con el aumento de las concentraciones de hierro, fundamentalmente en las dársenas de Cartagena y Escombreras.

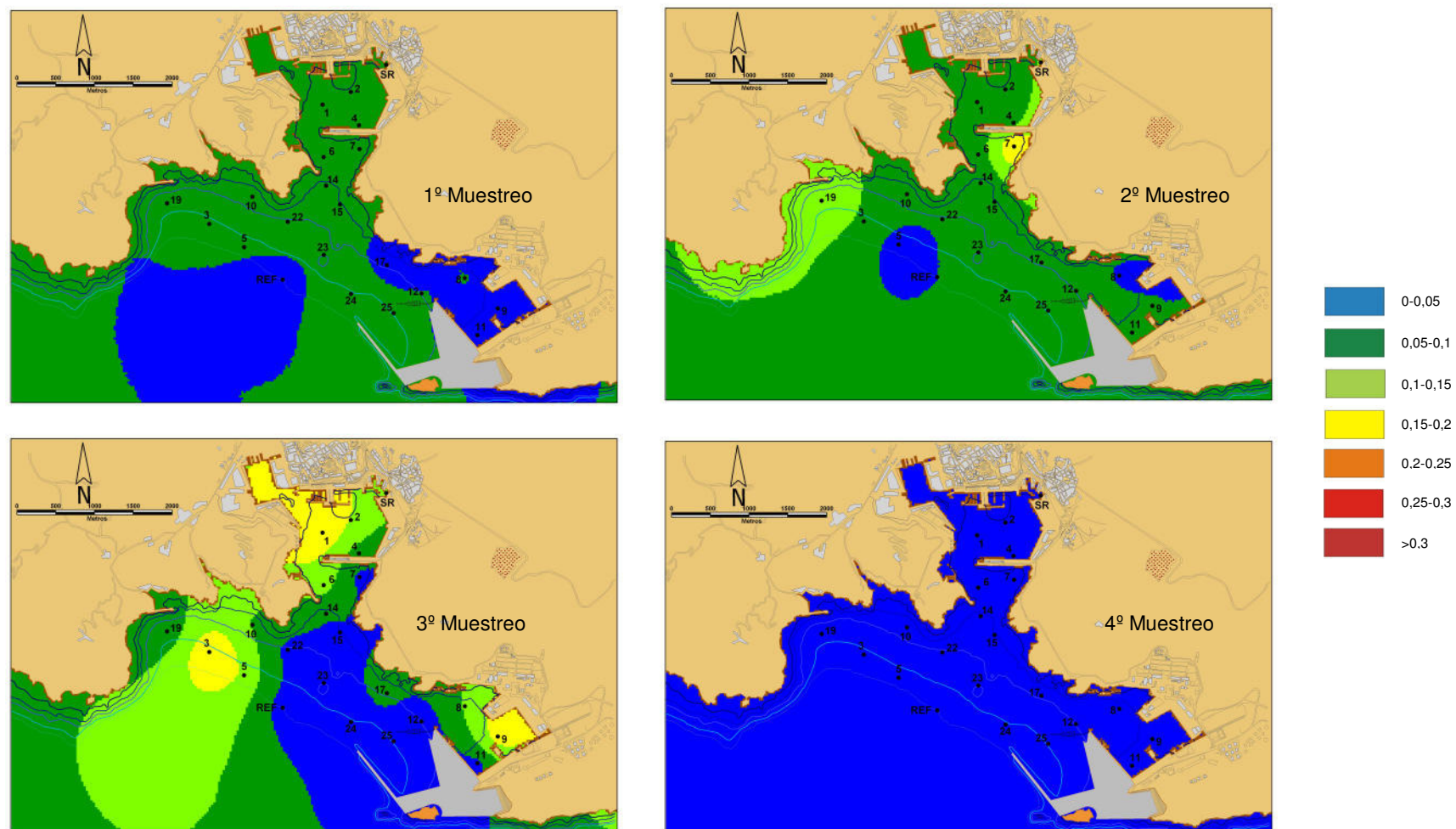


Figura 139. Distribución espacial de hierro (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo

- Zinc

La distribución de frecuencias de los valores de concentración de zinc es similar a una función *chi-cuadrado*. La mayor distribución de frecuencias se sitúa hacia los valores menores (0-0,05 mg/l), situándose los valores mayores en torno a 0,50 mg/l, y siendo la media de 0,08 mg/l (Figura 140).

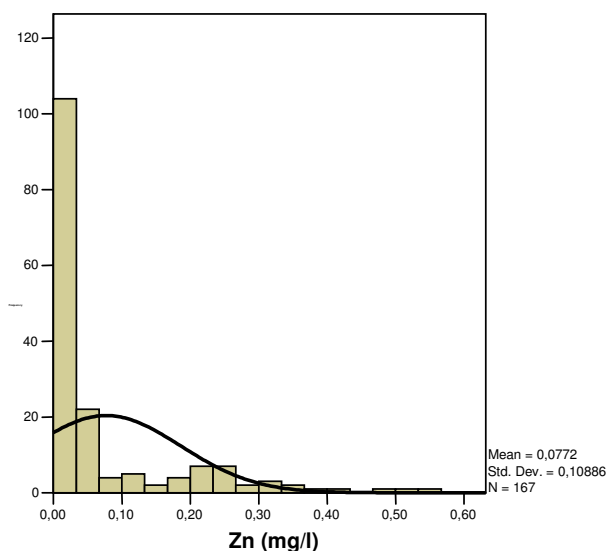


Figura 140. Distribución de frecuencias de zinc (mg/l)

Para poder analizar mejor la distribución de frecuencias de la concentración de zinc se toma la desviación estándar para este parámetro (0,11 mg/l, Tabla 11) y se le suma al valor de la media (0,08 mg/l) obteniendo 0,19 mg/l, valor a partir del cual se consideran valores anómalos (Pérez, 2004) que se eliminan de la representación de frecuencias (Figura 141).

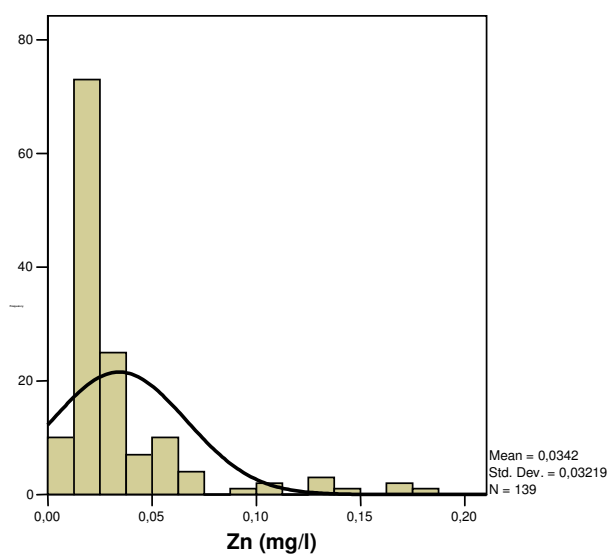


Figura 141. Distribución de frecuencias de zinc para muestras con valores inferiores a 0,19 mg/l

Se obtiene así una distribución de frecuencias donde la máxima frecuencia corresponde a valores alrededor de 0,025 mg/l. La media se desplaza a 0,04 mg/l (Figura 141). Esta nueva media puede indicar los valores de fondo de la zona de estudio, sumándole la desviación estándar (0,03 mg/l, Figura 134) se obtendría un valor de 0,07 mg/l, valor por encima del cual se estaría fuera de los valores de fondo de la zona de estudio.

Se han representado las variaciones de concentración de zinc con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 142 a 145).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) los muestreos 1º y 2º son los que presentan valores mayores, mientras que los muestreos 3º y 4º presentan valores bajos. En los puntos 1 y 2 la tendencia de 1º y 2º muestreo son contrarias, mientras que en el punto 4 tienen la misma tendencia (Figura 142).

En los puntos 1 y 2 la tendencia del 2º muestreo coinciden con los perfiles típicos de nutrientes, descenso de concentración desde superficie y aumento en el fondo (Millero, 2006). Dado que es este muestreo el que presenta valores mayores de clorofila A (Figura 68).

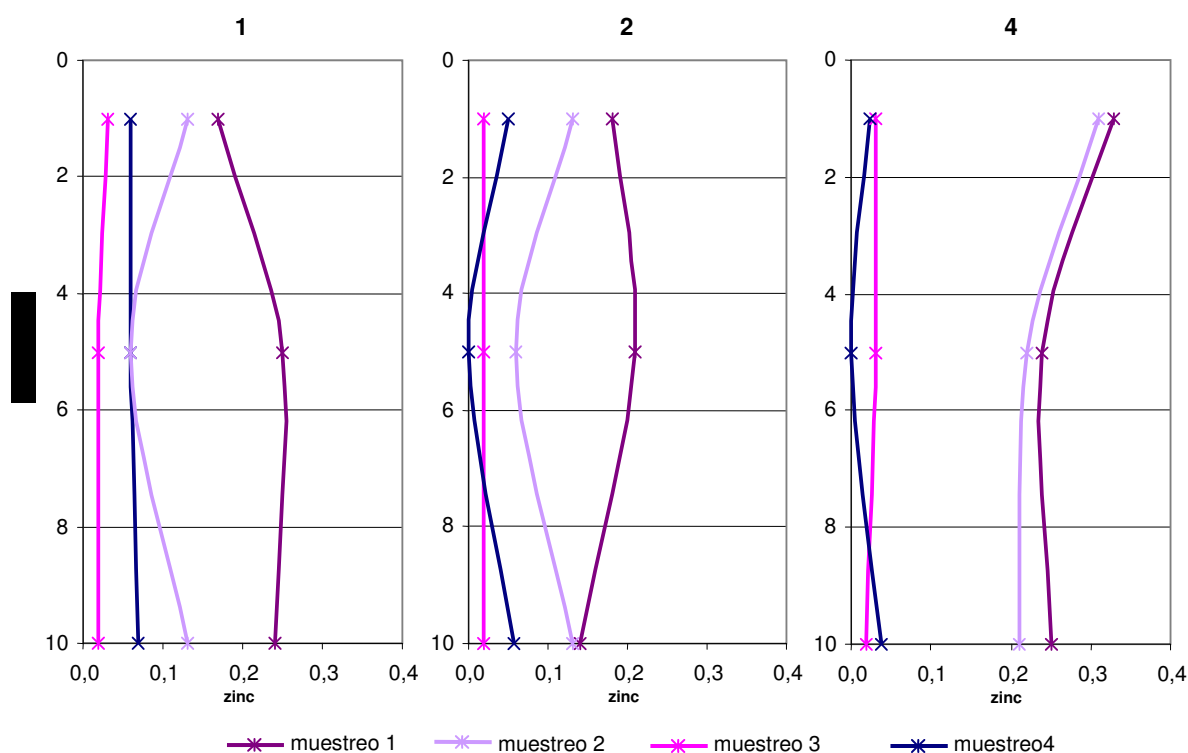
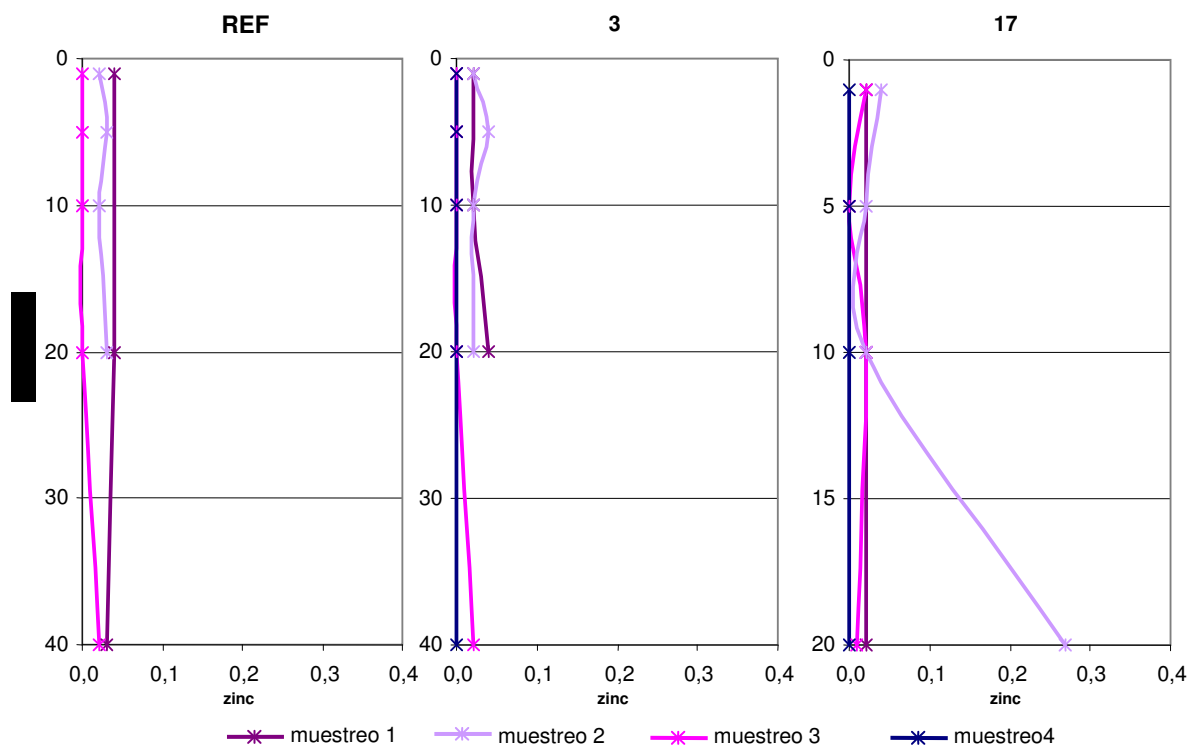


Figura 142. Distribución de zinc (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo

Los valores del 3º y 4º muestreo son menores de 0,1 mg/l, estando dentro de los valores de fondo de la zona de estudio ($< 0,07$ mg/l). Sin embargo los valores para el 1º y 2º muestreos son mayores de 0,1 mg/l (Figura 142).

En la **zona exterior** (Masa 2) se observa como la mayoría de los valores son bajos ($< 0,05$ mg/l). Destaca el elevado valor en profundidad del punto 17 en el 2º muestreo, lo cual podría corresponder a una removilización del elemento desde el sedimento (Figura 143).

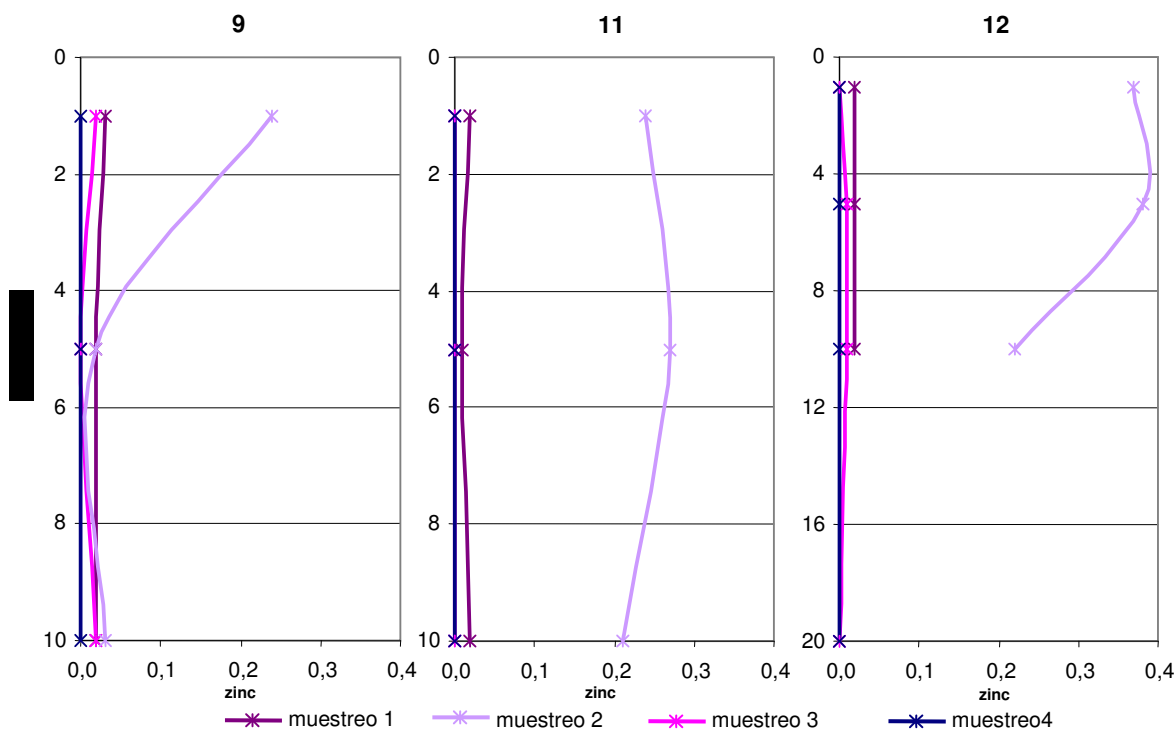


*La escala vertical del punto 17 se representa duplicada

Figura 143. Distribución de zinc (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo

Los valores son menores de $0,05$ mg/l, estando dentro de los valores de fondo de la zona de estudio ($< 0,07$ mg/l), únicamente en el punto 7, 2º muestreo, a 20 m de profundidad se superan los valores de fondo (Figura 143).

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) es el 2º muestreo el que presenta valores superiores al resto que tienen valores bajos y homogéneos. La tendencia de este 2º muestreo es a aumentar ligeramente de superficie a 5 m de profundidad para descender bruscamente hasta 10 m. Esta tendencia varía en el punto 9 donde desciende de superficie a 5 m alcanzando los valores del resto de muestreos y luego se mantiene prácticamente constante (Figura 144).



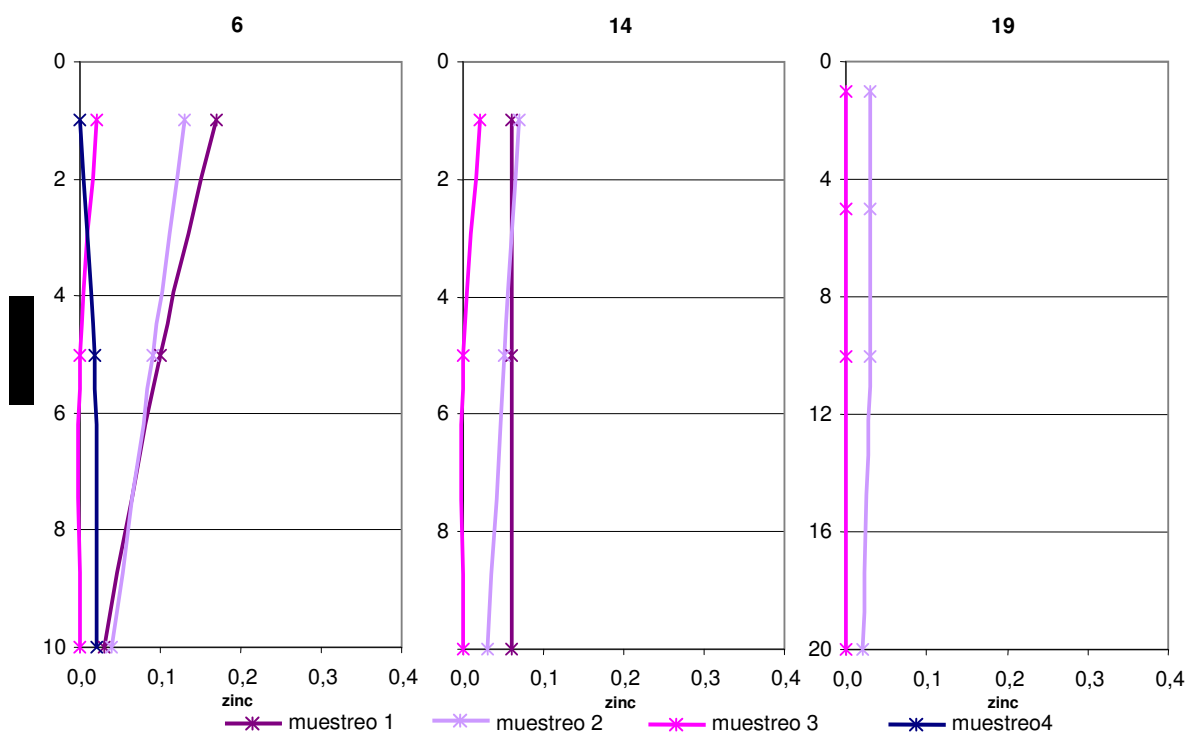
*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

Figura 144. Distribución de zinc (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo

Los valores son menores de 0,05 mg/l, estando dentro de los valores de fondo de la zona de estudio ($< 0,07$ mg/l), únicamente el 2º muestreo en todos los puntos supera los valores de fondo (Figura 144), lo cual pudiera estar relacionado con las operaciones de dragado.

En el 2º muestreo los valores de zinc tienen la tendencia inversa a los de sulfatos en esta zona (Figura 100) para el 2º muestreo.

En la **zona de transición** (Masa 4) la tendencia general en el punto 6 es a disminuir de superficie a fondo. En los puntos 14 y 19 los valores son muy constantes con una leve tendencia a disminuir con la profundidad (Figura 145).



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 145. Distribución de zinc (mg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo

La mayoría de los valores son menores de 0,1 mg/l y por lo tanto están dentro de los valores de fondo de la zona de estudio. Sin embargo los valores de superficie para el punto 6 son mayores de 0,1 mg/l en los muestreo 1º y 2º, estos valores mayores en superficie también aparecen en el mismo punto para las concentraciones de hierro (Figura 138).

La distribución espacial de zinc se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 146), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 57 a 60, Anexo III).

La evolución espacial muestra como los menores valores aparecen en el 3º y 4º muestreo de forma homogénea y los valores mayores aparecen en el 2º muestreo que presenta además la mayor variabilidad (Figura 146).

Los valores máximos aparecen en la Masa 1 en el 1º, 2º y 4º muestreo, también en la masa 3 en el 2º muestreo, esto puede ser debido a las operaciones de dragado, ya que en los demás muestreos esta masa pertenece al área de valores menores junto con la Masa 2 (Figura 146).

Al igual que en el caso de la distribución espacial de los valores de hierro, los mayores valores de zinc (2º muestreo) se corresponden con los menores de pH (2º muestreo) (Figuras 42 y 146). También ocurre lo mismo que para los valores de hierro en el caso de la clorofila, pero no solo en las dársena, también en la zona de transición (Figuras 72 y 146), en la Masa 4 además existe correspondencia con el comportamiento en profundidad de los valores de ambos parámetros (Figuras 71 y 145).

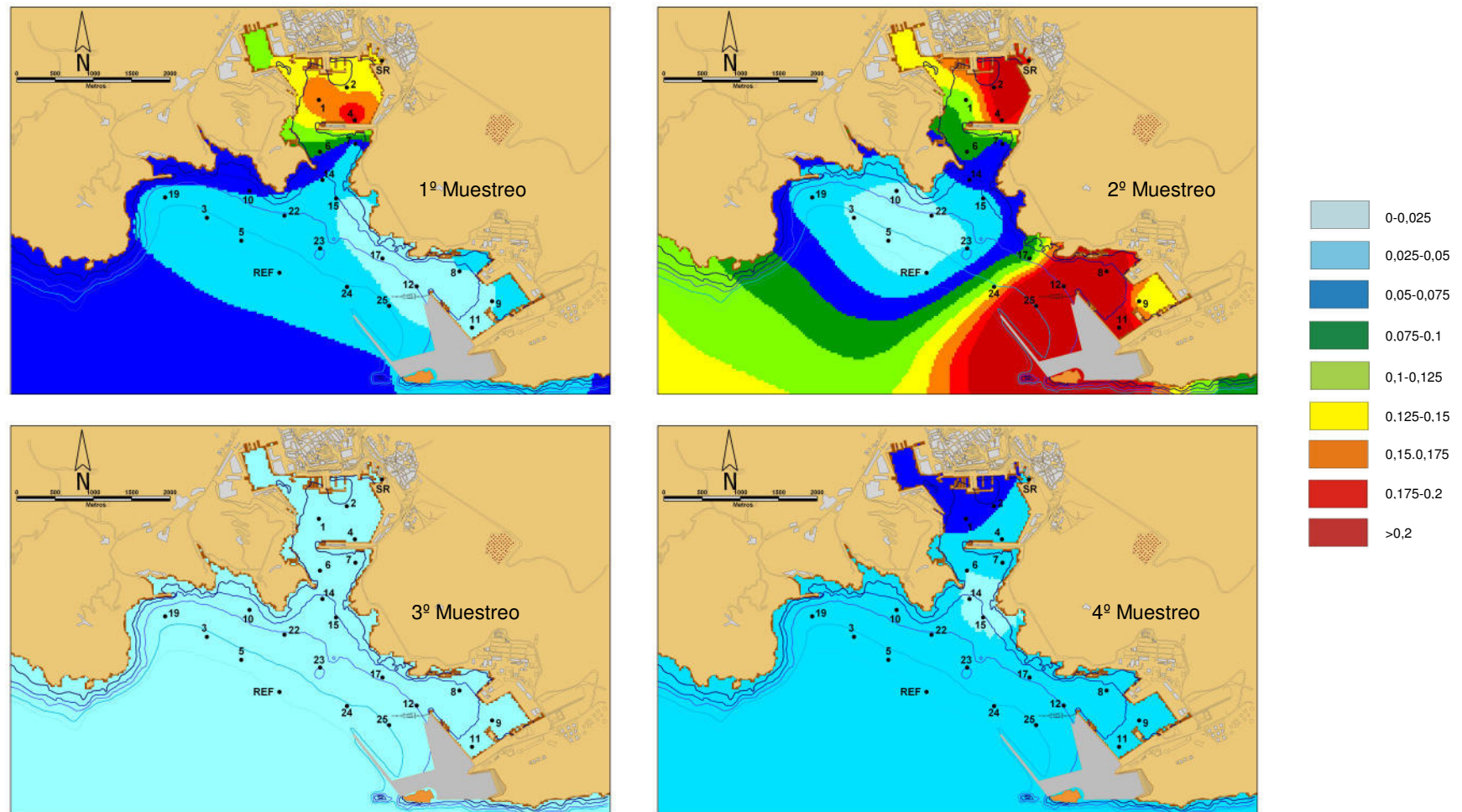


Figura 146. Distribución espacial de zinc (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo

- Cobre

La distribución de frecuencias de los valores de concentración de cobre es similar a una función *chi-cuadrado*. La mayor distribución de frecuencias se sitúa hacia los valores menores (0-25 µg/l), situándose los valores mayores en 200 µg/l, y siendo la media de 30,2 µg/l (Figura 147).

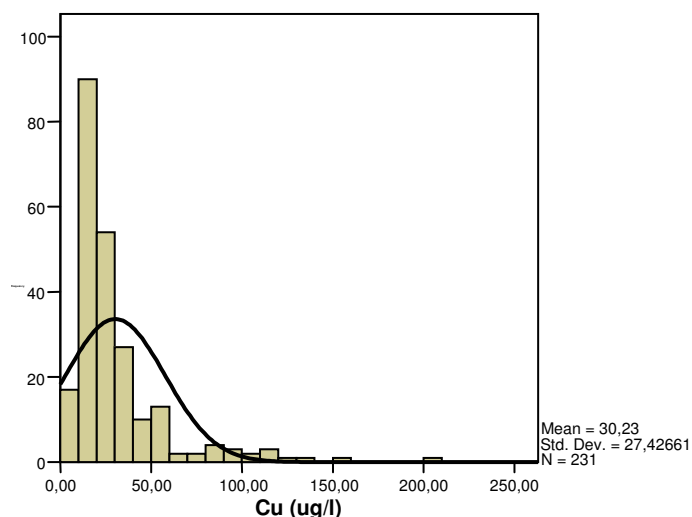


Figura 147. Distribución de frecuencias de cobre (µg/l)

Para analizar mejor la distribución de frecuencias de la concentración de cobre se toma la desviación estándar para este parámetro (27,5 µg/l, Tabla 11) y se le suma al valor de la media (30,2 µg/l) obteniendo 57,7 µg/l, valor a partir del cual se consideran valores anómalos (Pérez, 2004) que se eliminan de la representación de frecuencias (Figura 148).

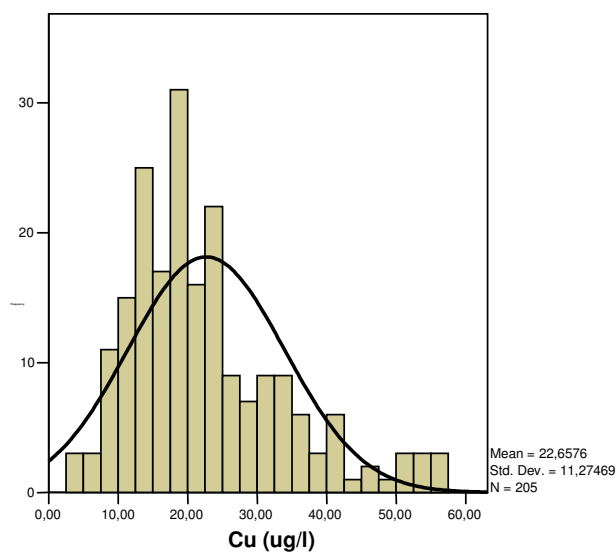


Figura 148. Distribución de frecuencias de cobre para muestras con valores inferiores a 57,7 µg/l

Se obtiene así una distribución de frecuencias más próxima a una normal. La media se desplaza a 22,7 µg/l (Figura 148). Esta nueva media puede indicar los valores de fondo de la zona de estudio, sumándole la desviación estándar (11,3 µg/l, Figura 148) se obtiene un valor de 34 µg/l, valor por encima del cual se está fuera de los valores de fondo de la zona de estudio.

Se han representado las variaciones de concentración de cobre con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 149 a 152).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) los valores de cobre son bajos en general, los mayores corresponden al 3º muestreo que, a excepción del punto 4, tiene tendencia a incrementar los valores de cobre a partir de 5 m de profundidad (Figura 149).

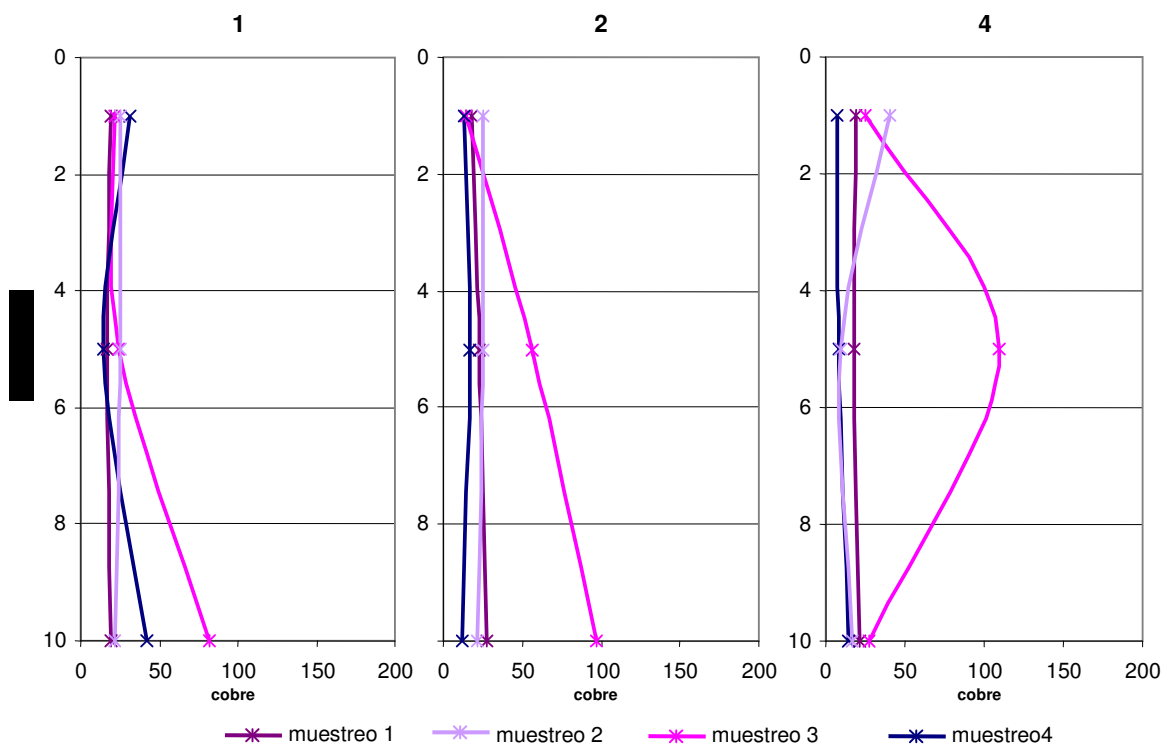
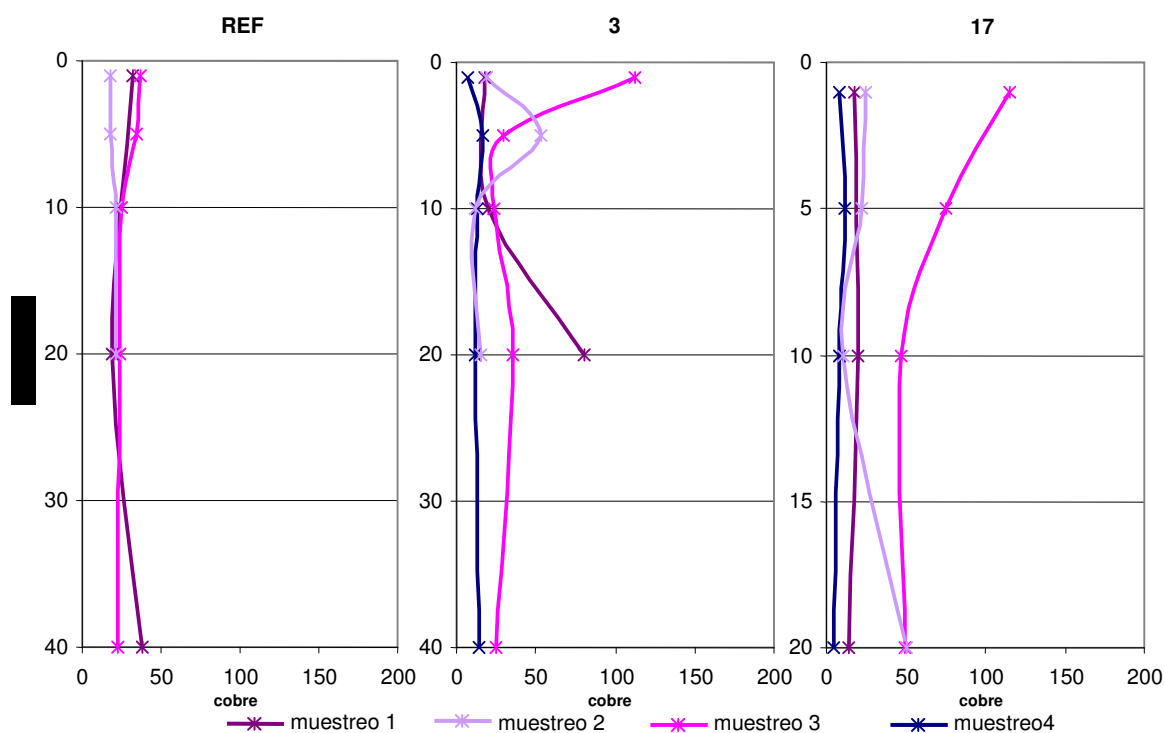


Figura 149. Distribución de cobre ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo

La mayoría de los valores están en torno a $25 \mu\text{g/l}$ y por lo tanto están dentro de los valores de fondo de la zona de estudio. Sin embargo los valores para el 3º muestreo son mayores de $50 \mu\text{g/l}$ (Figura 149).

La tendencia de los valores de cobre es la inversa de la tendencia de los valores de sulfatos en esta zona (Figura 98).

La **zona exterior** (Masa 2) presenta unos valores bastante constantes, los valores bajos corresponden al 1º y 4º muestreo. En los puntos 3 y 17 el 3º muestreo tiene valores elevados en superficie que disminuyen con la profundidad. El 2º muestreo en el punto 3, aumentan las concentraciones de cobre entre la superficie y 5 m para luego mantenerse prácticamente constantes hasta llegar a 40 m, mientras que en el punto 17 en superficie tiene valores bajos que disminuyen de 5 a 10 m para luego aumentar en profundidad (Figura 150), esta tendencia es similar a la que aparece en los valores de zinc para el mismo punto (Figura 143) y parece deberse a movilización de estos elementos desde los sedimentos.



*La escala vertical del punto 17 está duplicada

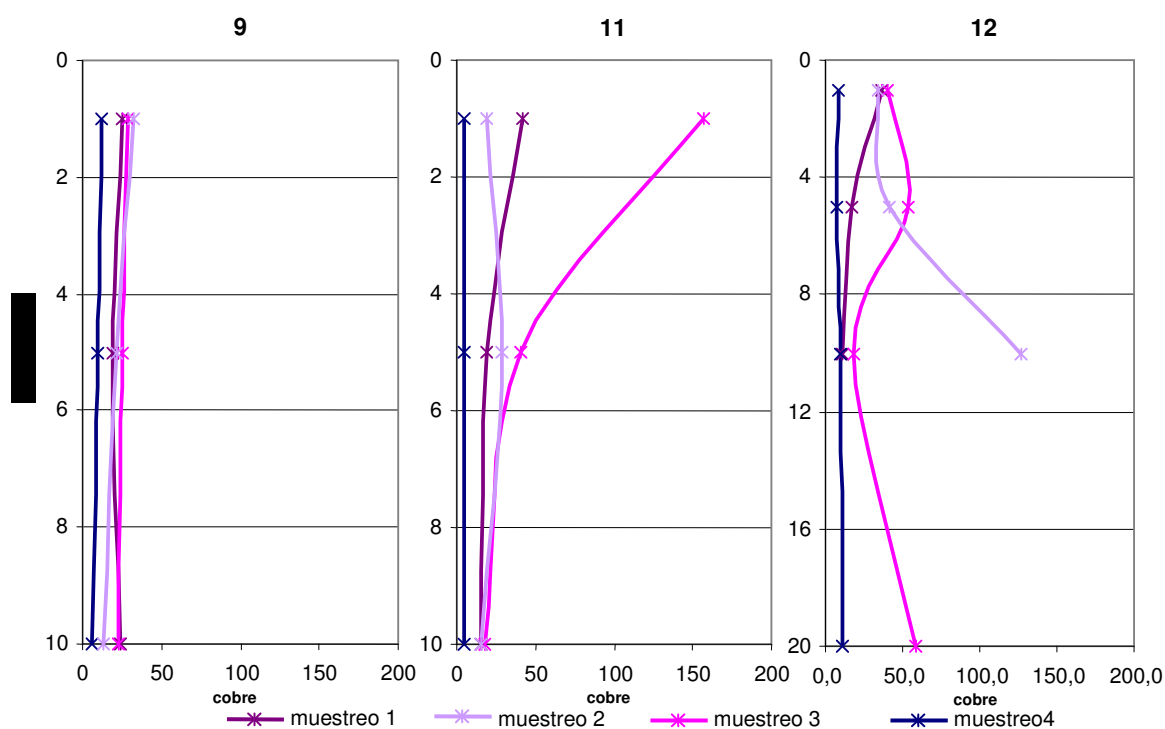
Figura 150. Distribución de cobre ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo

La mayoría de los valores están en torno a $25 \mu\text{g/l}$ y por lo tanto están dentro de los valores de fondo de la zona de estudio. Sin embargo los valores para el 3º muestreo en superficie para los puntos 3 y 17 son mayores de $50 \mu\text{g/l}$ (Figura 150).

La tendencia de los valores de cobre es similar a la tendencia de los valores de sulfatos en esta zona (Figura 99) y a los de hierro (Figura 136).

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los valores mayores corresponden al 3º muestreo, los menores al 4º muestreo. En el punto 9 los valores son muy homogéneos y constantes con la profundidad, en el punto 11 los valores descienden de superficie a 10 m, especialmente en el 3º muestreo, para luego mantenerse casi constantes (Figura 151).

El punto 12 es el que en la zona presenta mayor variación de tendencias por muestreo, así los muestreos 1º y 4º presentan valores bajos y prácticamente constantes, mientras que el 2º muestreo aumenta las concentraciones de cobre de 5 a 10 m y el 3º muestreo aumenta de superficie a 5 m, disminuye de 5 a 10 m y finalmente aumenta hasta alcanzar los 20 m de profundidad (Figura 151).



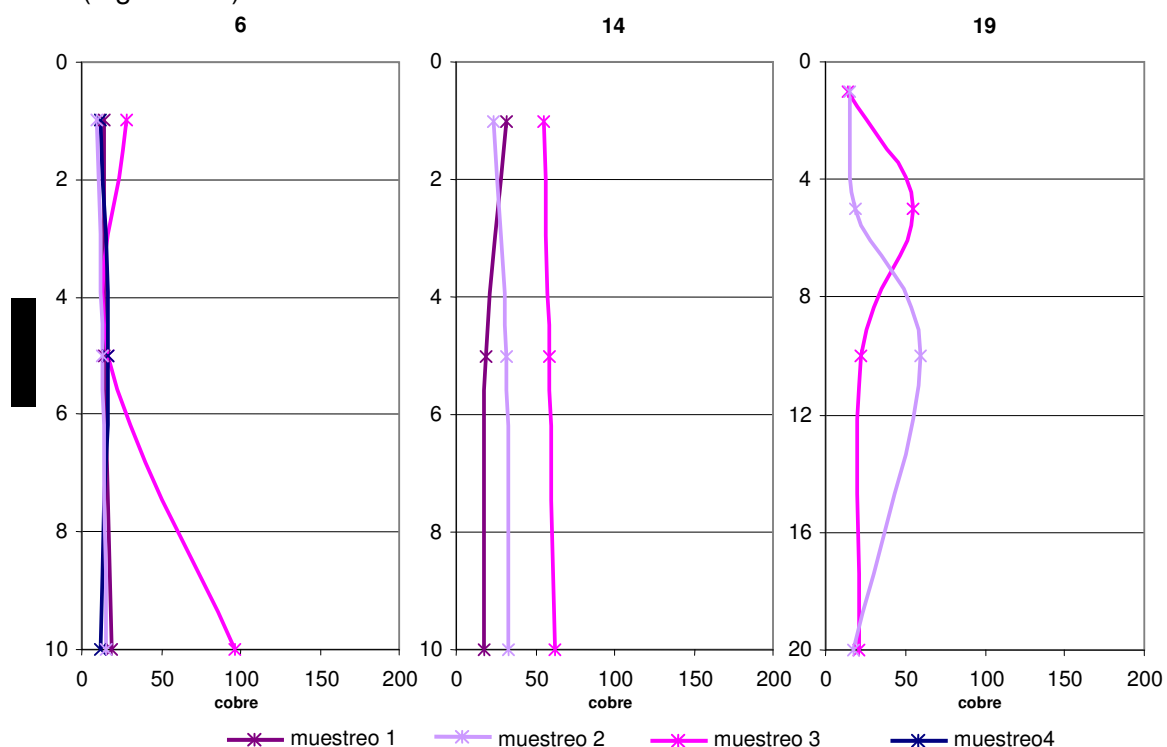
*La escala vertical del punto 12 reducida a la mitad

Figura 151. Distribución de cobre ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo

La mayoría de los valores están en torno a $25 \mu\text{g/l}$, sobre todo en las máximas profundidades y por lo tanto están dentro de los valores de fondo de la zona de estudio. Sin embargo los valores del 3º muestreo, en superficie en el punto 11 y en el fondo en el 12 son mayores de $50 \mu\text{g/l}$. Este valor de fondo también es elevado en el 2º muestreo (Figura 151), pudiendo estar relacionado con las operaciones de dragado.

En la **zona de transición** (Masa 4) la tendencia general en el punto 6 es a mantenerse los valores constantes de superficie a fondo, excepto en el caso del 3º muestreo donde los valores de fondo son elevados lo cual puede estar relacionado con removilización de cobre desde el sedimento (Figura 152).

En el punto 14 los valores son constantes pero mayores que en el punto 6. En el punto 19 los valores de fondo y superficie son similares, pero en el 2º muestreo, entre 5 m y 10 m hay una tendencia a aumentar, para luego disminuir de 10 a 20 m de profundidad. En el 3º muestreo la tendencia es la opuesta aumentando de superficie a 5 m para luego disminuir de 5 a 10 m (Figura 152).



*La escala vertical del punto 19 12 reducida a la mitad

Figura 152. Distribución de cobre ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo

La mayoría de los valores están en torno a $25 \mu\text{g/l}$ excepto en el 3º muestreo, en el punto 6 a 10 m y en el punto 11 en todo el perfil, donde son mayores de $50 \mu\text{g/l}$ y por lo tanto mayores de los valores considerados de fondo para este parámetro (Figura 152).

La distribución espacial de cobre se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 153), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 61 a 64, Anexo III).

La evolución espacial muestra como los menores valores aparecen en el 4º muestreo de forma casi homogénea y los valores mayores aparecen en el 3º muestreo que junto con el 2º muestreo presenta la mayor variabilidad (Figura 153).

Los valores máximos aparecen en la Masa 1, 3 y en la 4 en el 3º muestreo (Figura 153).

Al igual que en el caso de hierro y zinc, los mayores valores de cobre (2º muestreo) se corresponden con los menores de pH (2º muestreo) (Figuras 42 y 153), ocurre lo mismo en el caso de la clorofila A en las dársena (Figuras 68 y 153).

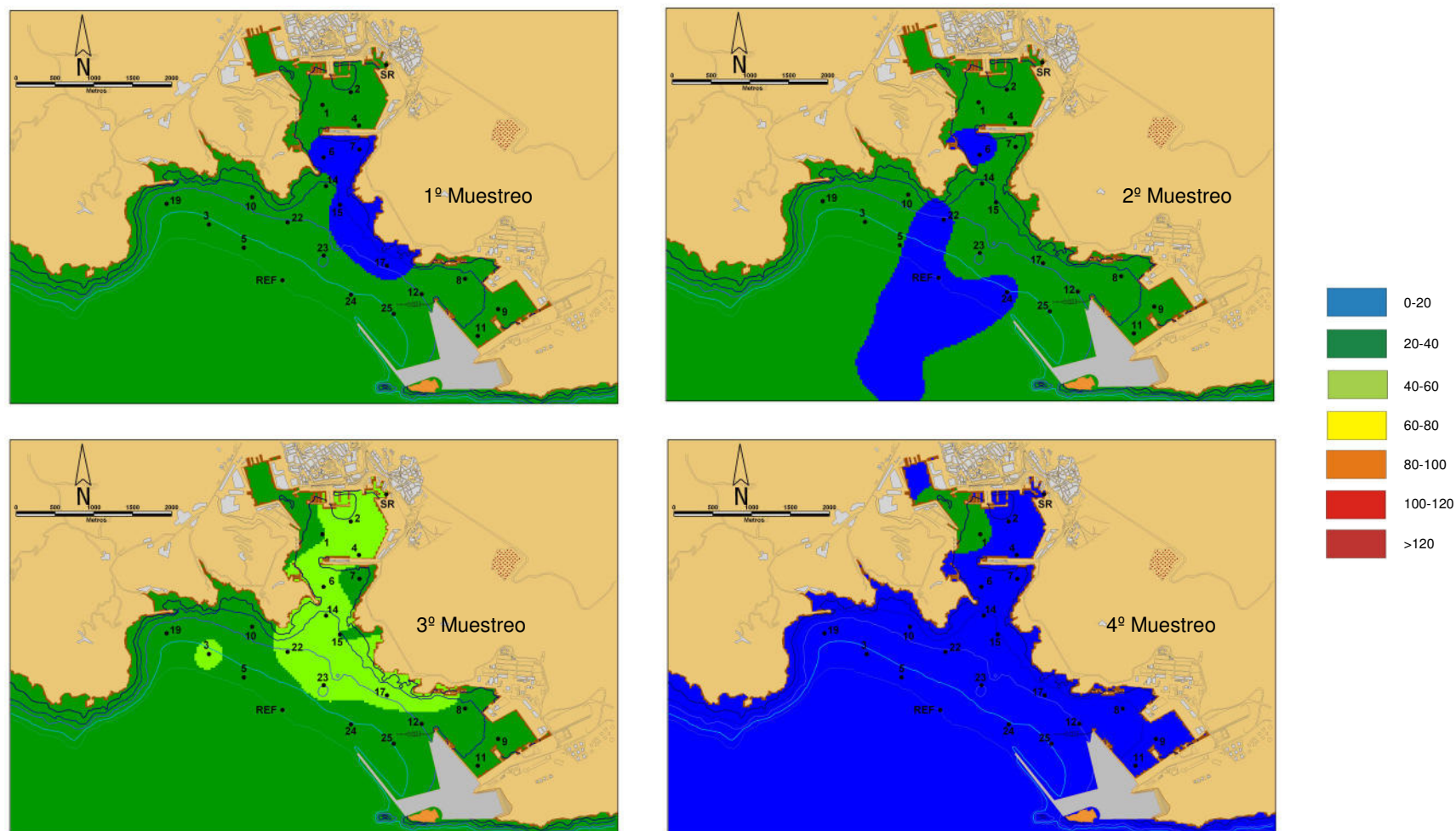


Figura 153. Distribución espacial de cobre ($\mu\text{g/l}$) en base a los valores medios en cada punto de muestreo

- Cadmio

La distribución de frecuencias para las concentraciones de cadmio se ajustan a una *chi-cuadrado*, donde la mayor frecuencia corresponde a los valores menores (0-2,5 $\mu\text{g/l}$) y los mayores a 15 $\mu\text{g/l}$; siendo la media de 1,8 $\mu\text{g/l}$ (Figura 154).

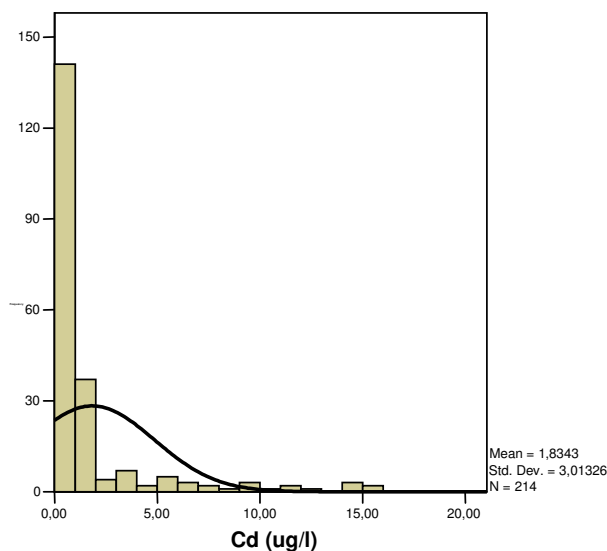


Figura 154. Distribución de frecuencias de cadmio ($\mu\text{g/l}$)

Para analizar mejor la distribución de frecuencias de cadmio se toma la desviación estándar para este parámetro (3,02 $\mu\text{g/l}$, Tabla 11) y se le suma al valor de la media (1,83 $\mu\text{g/l}$) obteniendo 4,85 $\mu\text{g/l}$, valor a partir del cual se consideran valores anómalos (Pérez, 2004) que se eliminan de la representación de frecuencias (Figura 154b).

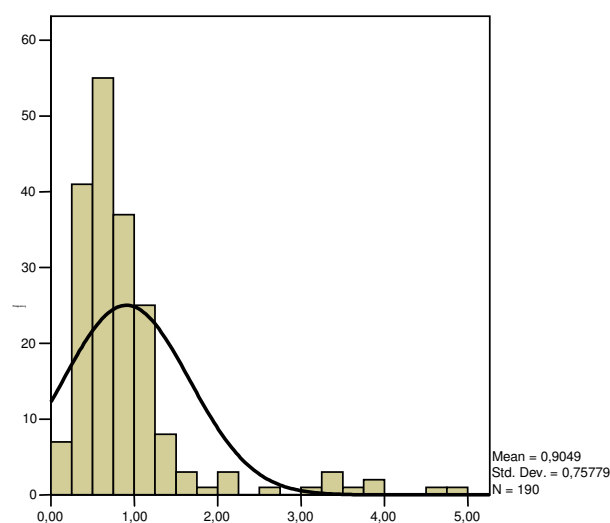


Figura 154b. Distribución de frecuencias de cadmio para muestras con valores inferiores de 4,85 $\mu\text{g/l}$

Se obtiene así una distribución de frecuencias más próxima a una normal. La media se desplaza a 0,51 $\mu\text{g/l}$ (Figura 154b). Esta nueva media puede indicar los valores de fondo de la zona de estudio, sumándole la desviación estándar (0,76 $\mu\text{g/l}$, Figura 154b) se obtendría un valor de 1,27 $\mu\text{g/l}$, valor por encima del cual se estaría fuera de los valores de fondo de la zona de estudio.

Se han representado las variaciones de concentración de cadmio con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 155 a 159).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) los muestreos 1º y 2º son los que presentan valores mayores, alcanzando hasta 16 µg/l, y tendencias muy diferentes a las de los muestreos 3º y 4º con valores bajos (< 2,5 µg/l) y muy constantes frente a la profundidad (Figura 155).

El 2º muestreo presenta una tendencia común en todos los puntos disminuyendo de superficie a 5 m para permanecer constante o aumentar de 5 a 10 m. El 1º muestreo en el punto 1 aumenta de superficie a fondo, en el punto 2 los valores permanecen constantes entre superficie y 5 m disminuyendo hasta los 10 m de profundidad y en el punto 4 disminuye de superficie a 5 m para permanecer constante hasta llegar a 10 m de profundidad (Figura 155).

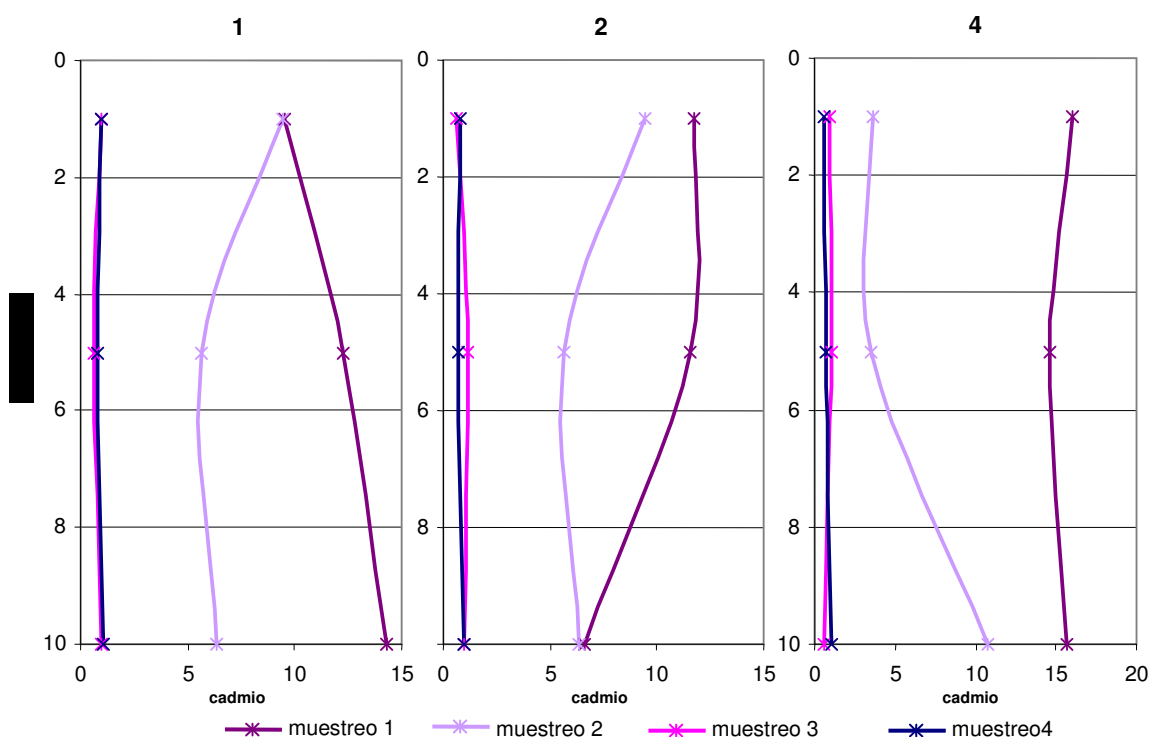


Figura 155. Distribución de cadmio (µg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo

Los valores de los muestreos 3º y 4º están en torno a 1 µg/l y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro (1,27 µg/l). Los muestreos 1º y 2º son superiores a 5 µg/l, luego por encima de los valores considerados de fondo (Figura 155).

La tendencia de los puntos de la zona es la inversa de la tendencia de los valores de sulfatos para la misma zona (Figura 98).

En la **zona exterior** (Masa 2) los valores de concentración de cadmio son en general bajos, exceptuando el caso del 3º muestreo donde los valores se incrementan a 5 m de profundidad para volver a descender hasta alcanzar de nuevo valores bajos a profundidades de 20 m (Figura 156).

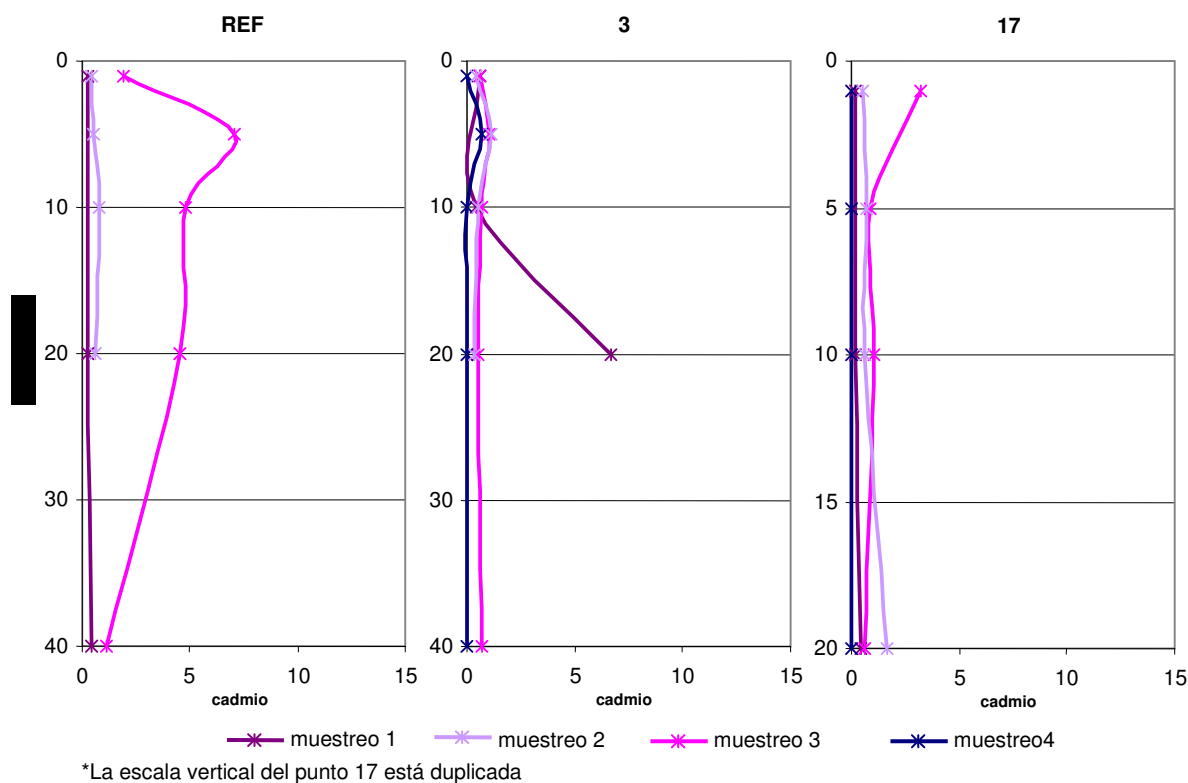
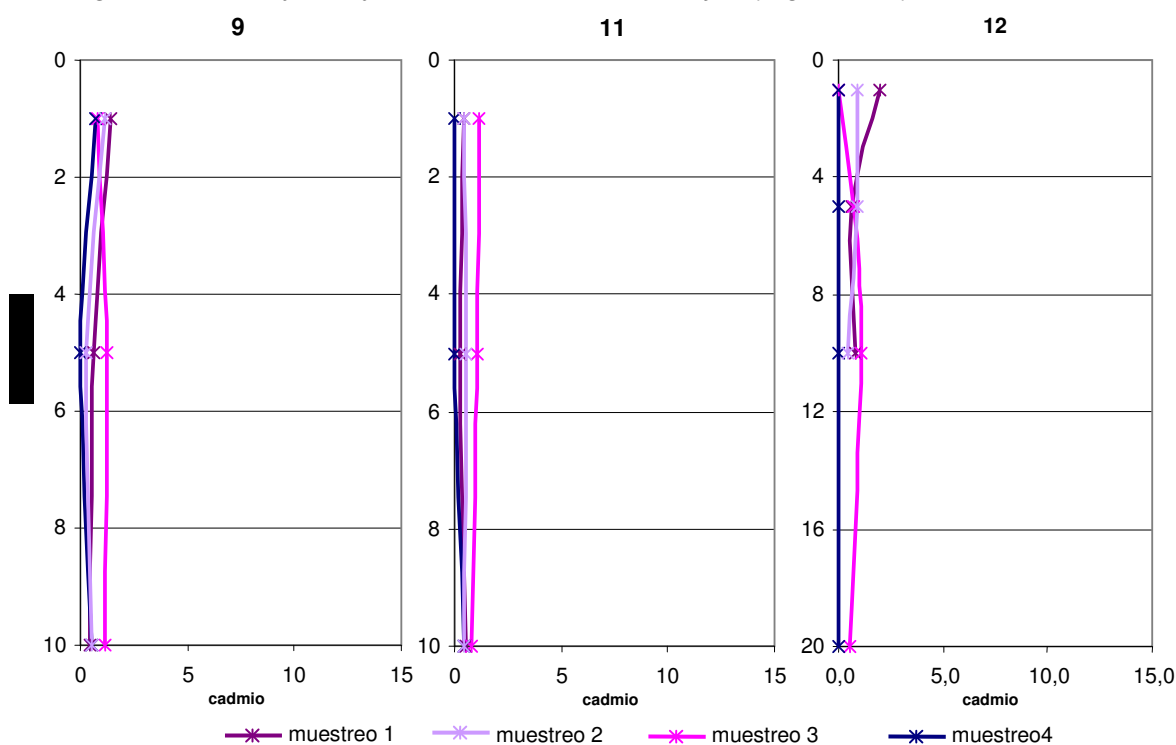


Figura 156. Distribución de cadmio ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo

En el punto 3 el 1º muestreo aumenta las concentraciones de cadmio de 10 a 20 m de profundidad hasta alcanzar valores mayores a $5 \mu\text{g/l}$ (Figura 156).

La mayoría de los valores son menores de $1 \mu\text{g/l}$ y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro ($1,27 \mu\text{g/l}$). El 1º muestreo en el punto 3 (20 m) y el 3º muestreo en los puntos REF (5 y 10 m) y 17 en superficie muestran valores superiores a $5 \mu\text{g/l}$, luego por encima de los valores considerados de fondo (Figura 156).

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los valores son bajos y muy constantes frente a la profundidad, destacando el 3º muestreo con valores ligeramente mayores y el 4º con valores más bajos (Figura 157).



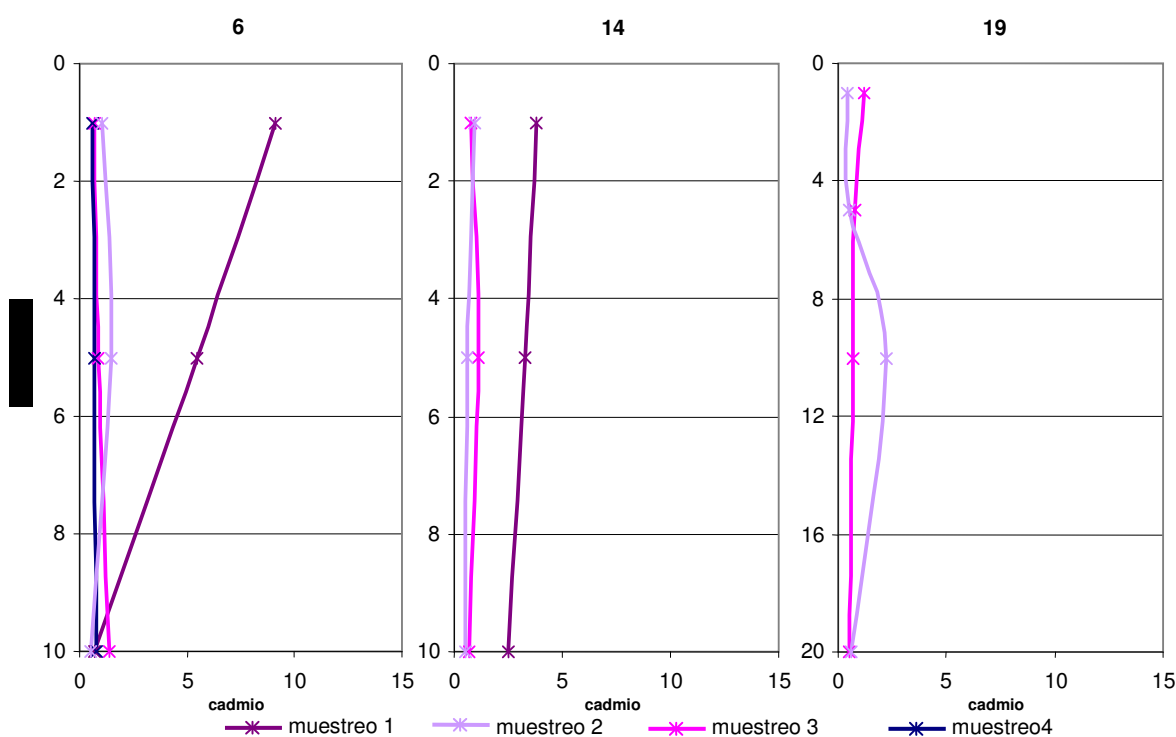
*La escala vertical del punto 12 reducida a la mitad

Figura 157. Distribución de cadmio ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo

La mayoría de los valores son menores de $1 \mu\text{g/l}$ y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro ($1,27 \mu\text{g/l}$) (Figura 157).

En la **zona de transición** (Masa 4) la tendencia general en el punto 6 es a mantenerse los valores constantes de superficie a fondo, excepto en el caso del 1º muestreo donde los valores en superficie son elevados lo cual puede estar relacionado con vertidos (Figura 158).

En el punto 14 los valores son constantes de nuevo el 1º muestreo presenta valores más elevados y una leve tendencia a disminuir con la profundidad. En el punto 19 los valores de fondo y superficie son similares en el 3º muestreo, pero en el 2º muestreo, entre 5 m y 10 m hay una tendencia a aumentar, para luego disminuir de 10 a 20 m de profundidad (Figura 158) como en el caso del cobre (Figura 152).



*La escala vertical del punto 19 reducida a la mitad

Figura 158. Distribución de cadmio ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo

La mayoría de los valores son menores de $1 \mu\text{g/l}$ y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro ($1,27 \mu\text{g/l}$) excepto en el 1º muestreo, punto 6, donde en superficie los valores son mayores de $5 \mu\text{g/l}$ (Figura 158).

La distribución espacial de cadmio se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 159), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 65 a 68, Anexo III).

La evolución espacial muestra como los menores valores aparecen en el 4º muestreo de forma casi homogénea y los valores mayores aparecen en el 1º muestreo que es el de mayor variabilidad (Figura 159).

Los valores máximos aparecen en la Masa 1 en el 1º y 2º muestreo, y en la Masa 2 en el 3º muestreo (Figura 159).

Los mayores valores de cadmio (2º muestreo) se corresponden con los menores de pH (2º muestreo) (Figuras 42 y 159).

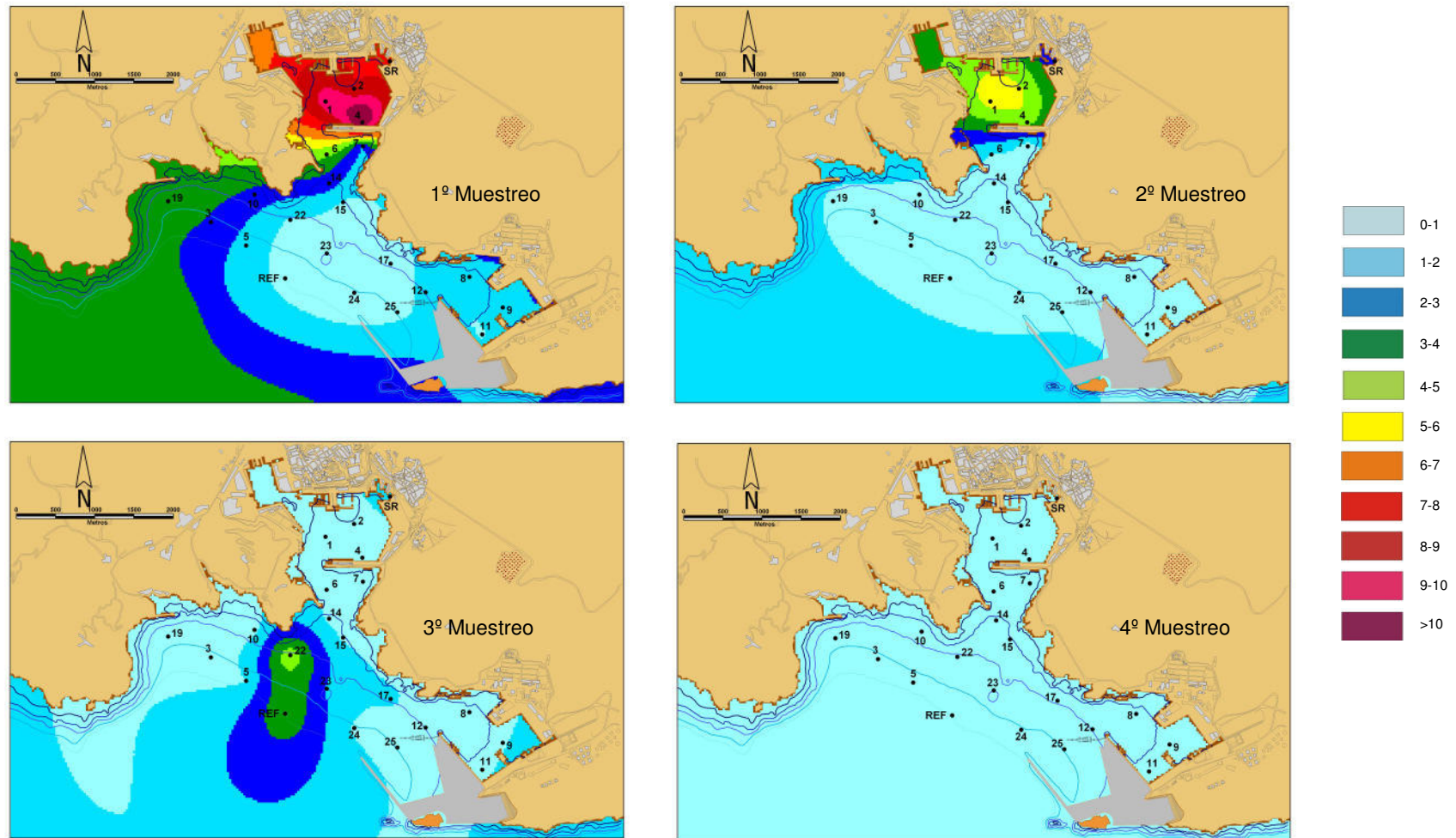


Figura 159. Distribución espacial de cadmio ($\mu\text{g/l}$) en base a los valores medios en cada punto de muestreo

- Plomo

La distribución de frecuencias para las concentraciones de plomo se ajustan a una *chi-cuadrado*, donde la mayor frecuencia corresponde a los valores menores y entre 0 y 20 $\mu\text{g/l}$ y los valores máximos son puntuales y están en torno a 100 $\mu\text{g/l}$; siendo la media de 4,5 $\mu\text{g/l}$ (Figura 160).

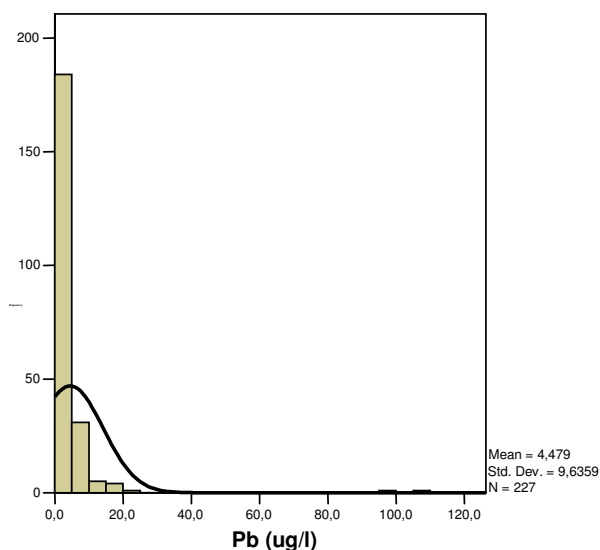


Figura 160. Distribución de frecuencias de plomo ($\mu\text{g/l}$)

Para analizar mejor la distribución de frecuencias de plomo se toma la desviación estándar para este parámetro (9,64 $\mu\text{g/l}$, Tabla 11) y se le suma al valor de la media (4,48 $\mu\text{g/l}$) obteniendo 14,12 $\mu\text{g/l}$, valor a partir del cual se consideran valores anómalos (Pérez, 2004) que se eliminan de la representación de frecuencias (Figura 161).

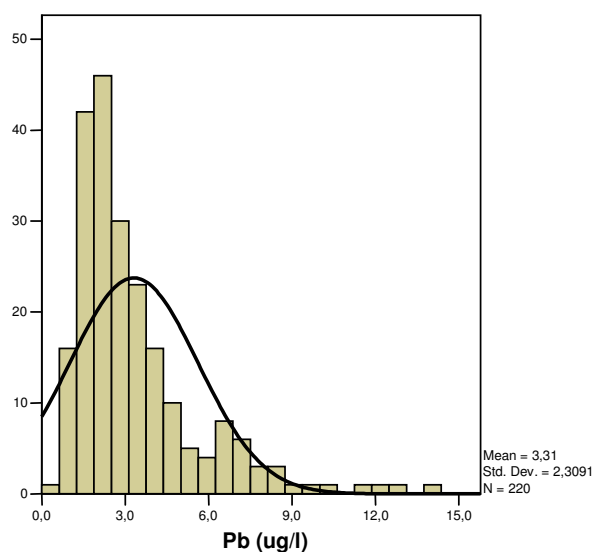


Figura 161. Distribución de frecuencias de plomo para muestras con valores inferiores de 14,12 $\mu\text{g/l}$

Se obtiene una distribución de frecuencias más próxima a una normal. La media se desplaza a $3,31 \mu\text{g/l}$ (Figura 161). Esta nueva media puede indicar los valores de fondo de la zona de estudio, sumándole la desviación estándar ($2,31 \mu\text{g/l}$, Figura 161) se obtiene un valor de $5,62 \mu\text{g/l}$, valor por encima del cual se estaría fuera de los valores de fondo de la zona de estudio.

Se han representado las variaciones de concentración de plomo con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 162 a 165).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) destaca el 1º muestreo con valores de concentración de plomo más elevados que el resto de muestreos, aunque no se superan los $10 \mu\text{g/l}$ salvo en el caso del punto 4 a 5 m. La tendencia para el 1º muestreo es similar en todos los puntos, leve disminución de superficie a fondo, pero en cada punto a 5 m la evolución difiere, así en el punto 1 no existe inflexión, en el punto 2 aparece una leve inflexión aumentando los valores entre superficie y 5 m para luego descender, esta tendencia se acentúa en el punto 4 hasta alcanzar valores muy elevados a 5 m (Figura 162).

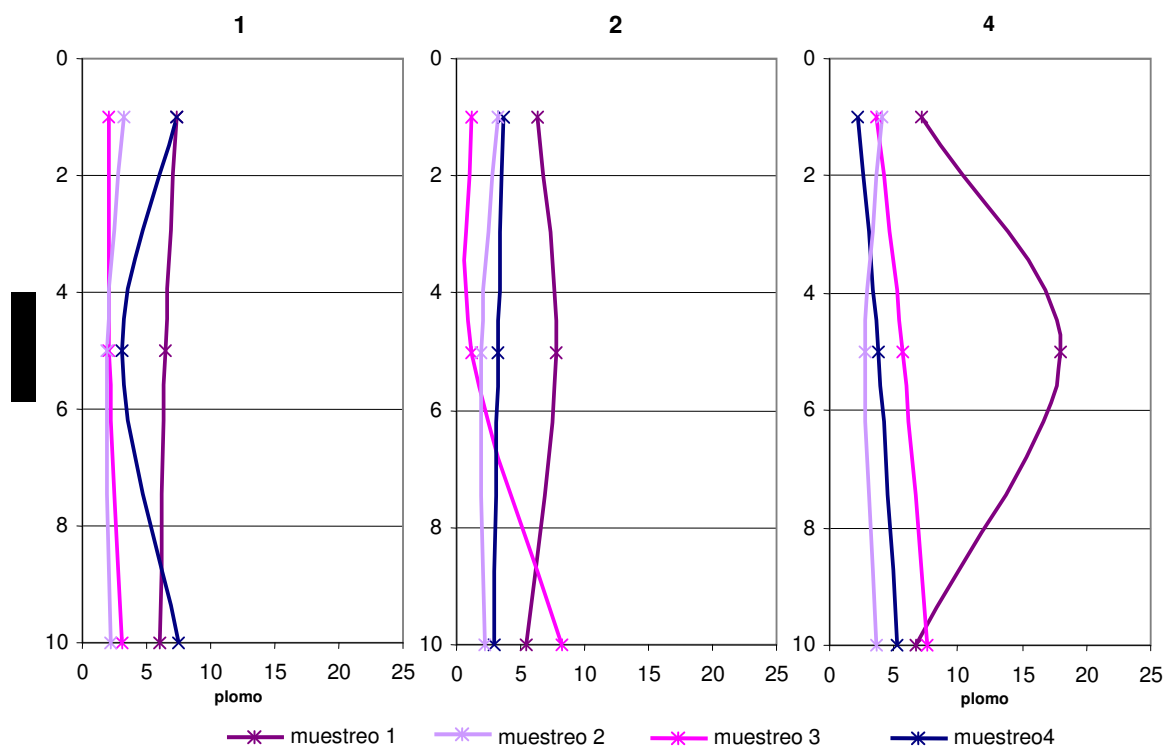
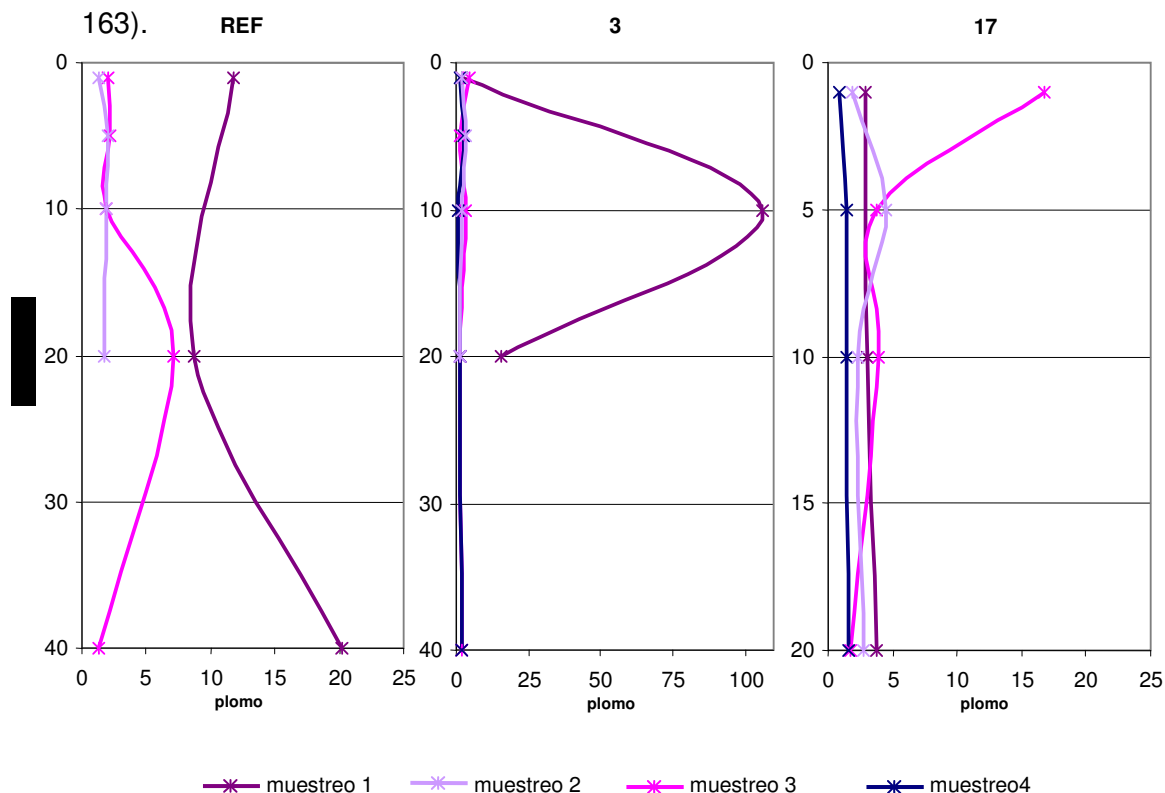


Figura 162. Distribución de plomo ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo

La mayoría de los valores están por debajo de 5 $\mu\text{g/l}$ y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro (5,62 $\mu\text{g/l}$) excepto en el 1º muestreo, puntos 1 y 4, y el 3º muestreo punto 2 a 10 m, donde los valores son mayores de 5 $\mu\text{g/l}$ (Figura 162). En el caso del punto 2 a 10 m el perfil parece indicar una removilización desde los sedimentos de plomo.

En la **zona exterior** (Masa 2) se observa como para las muestras más profundas (REF y 3) el muestreo 1º tiene concentraciones mayores que los demás, especialmente en el punto 3 donde a 5 m aparece una anomalía un orden de magnitud mayor (100 $\mu\text{g/l}$) que los demás valores de plomo (Figura 163).



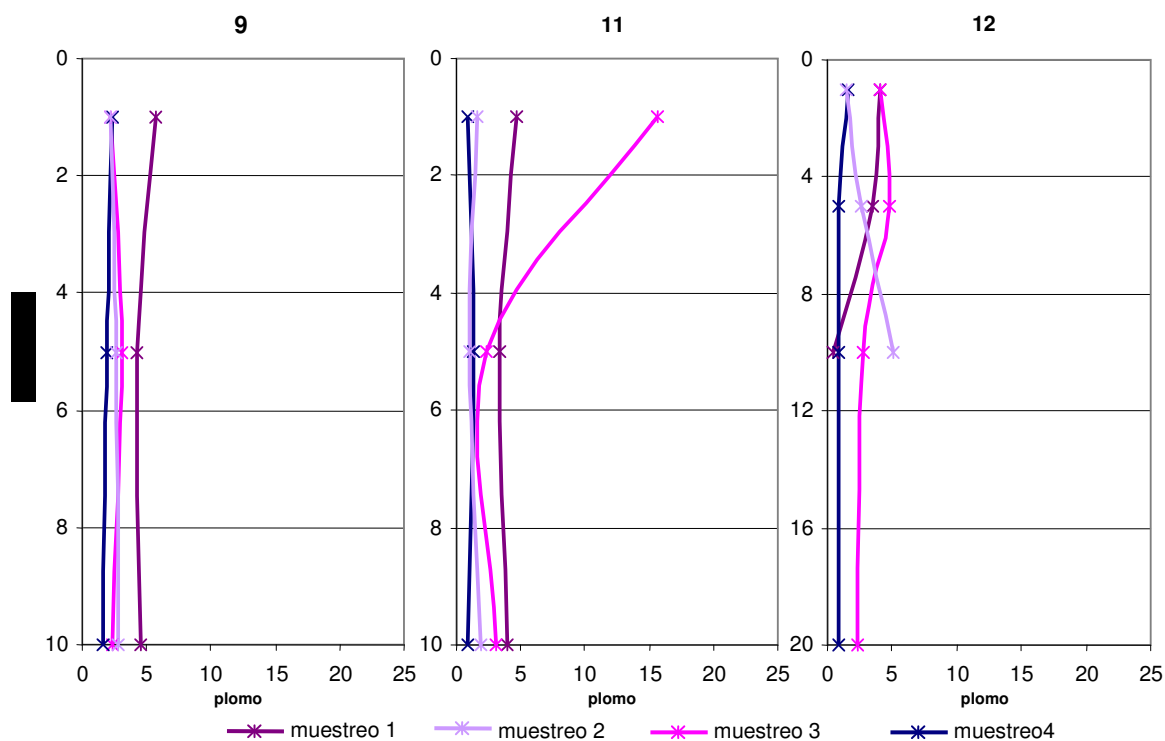
*La escala vertical del punto 17 está duplicada

Figura 163. Distribución de plomo ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo

La mayoría de los valores están por debajo de 5 $\mu\text{g/l}$ y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro (5,62 $\mu\text{g/l}$) excepto en cuatro casos, en el 1º muestreo, puntos REF y 3, y el 3º muestreo en el punto REF entre 10 m y 20 m y el punto 17 entre la superficie y 5 m donde los valores alcanzan 15 - 20 $\mu\text{g/l}$ (Figura 163).

Las tendencias del plomo en el punto REF son inversas a las del mismo punto para concentraciones de carbonatos y bicarbonatos (Figuras 87 y 93)

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) siempre es el 4º muestreo el que presenta valores menores, mientras que el 1º es el de valores mayores excepto en el punto 12, en el exterior de la dársena, donde es el 3º muestreo el de valores mayores (Figura 164).



*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

Figura 164. Distribución de plomo ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo

En el punto 11 los valores de superficie para el 3º muestreo son los más elevados de esta zona, descendiendo bruscamente a 5 m para mantenerse prácticamente constantes hasta 10 m (Figura 164), podría deberse a un vertido en superficie que es retirado del medio por los microorganismos presentes.

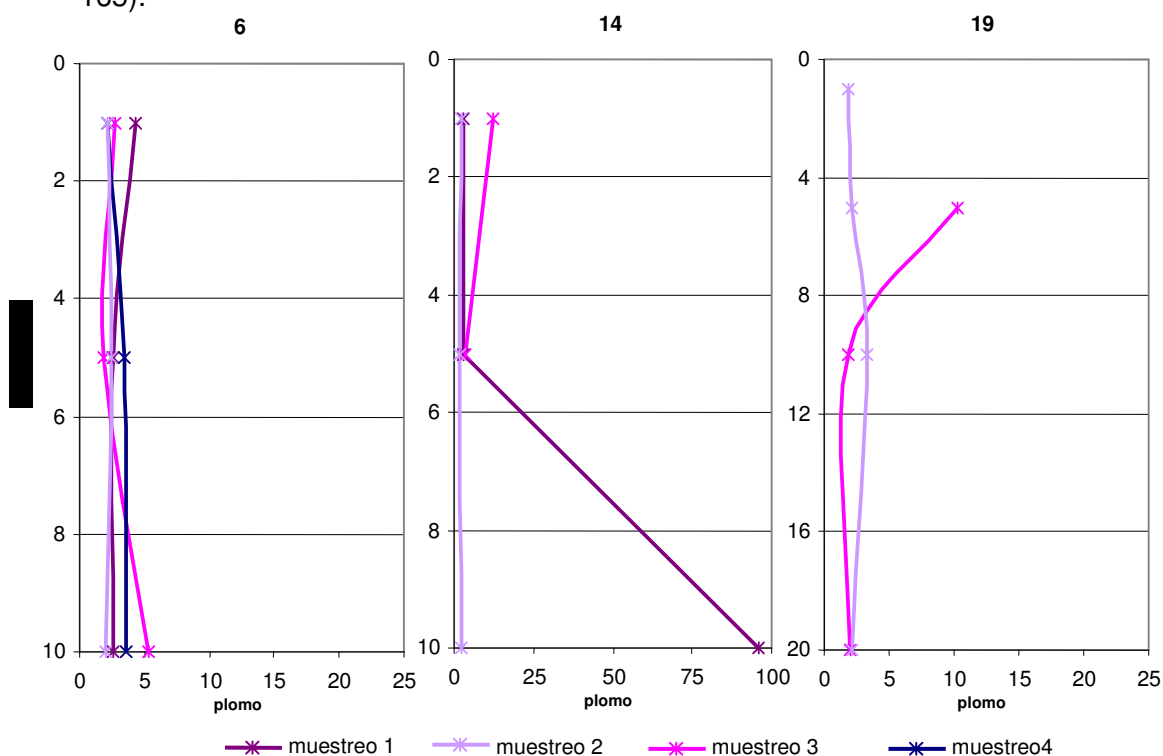
En el punto 12, se observa una tendencia a aumentar las concentraciones de plomo con la profundidad en el 2º muestreo (Figura 164), tendencia que coincide en todos los metales analizados y que parece derivar de las operaciones de dragado.

Los valores a las profundidades máximas son menores de $5 \mu\text{g/l}$ y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro ($5,62 \mu\text{g/l}$) e igualmente la mayoría de valores en superficie, excepto en el 3º muestreo, punto 11, donde en superficie se superan los $15 \mu\text{g/l}$ (Figura 164).

En la **zona de transición** (Masa 4) la tendencia general en el punto 6 es a mantenerse los valores constantes de superficie a fondo, excepto en el caso del 1º muestreo que tienden a disminuir con la profundidad y del 3º muestreo donde los valores disminuyen de superficie a 5 m para aumentar hasta 10 m lo cual sugiere una removilización desde el fondo (Figura 165).

En el punto 14 los valores son bajos en el 2º muestreo, mientras que el 1º muestreo tiene valores bajos y constantes de superficie a 5 m para luego aumentar bruscamente llegando a 96 µg/l a 10 m (Figura 165), esta tendencia parece indicar una removilización de plomo desde los sedimentos.

En el punto 19 los valores de fondo y superficie son similares en el 2º muestreo, pero en el 3º muestreo se da una disminución de superficie a 5 m para permanecer constantes las concentraciones de plomo hasta 10 m (Figura 165).



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 165. Distribución de plomo (µg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo

La mayoría de los valores son menores de 5 µg/l y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro (5,62 µg/l) excepto en el 1º muestreo, punto 4, donde a 10 m superan en un orden de magnitud al resto, y en el punto 19, 3º muestreo, en superficie donde los valores son mayores de 10 µg/l (Figura 165).

En esta zona se observan claramente dos tendencias diferenciadas y características, valores elevados a la profundidad máxima por contraste con valores bajos a menores profundidades (punto 14, 1º muestreo), tendencia típica de removilización de metales desde el fondo, y valores elevados en superficie que disminuyen a profundidades mayores (punto 19, 3º muestreo), tendencia típica de aportes en superficie del elemento estudiado que es retirado de la columna de agua por el fitoplancton.

La distribución espacial de plomo se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 166), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 69 a 72, Anexo III).

La evolución espacial muestra como los menores valores aparecen en el 4º muestreo aunque no de forma homogénea y los valores mayores aparecen en el 1º muestreo que es el de mayor variabilidad (Figura 166).

Los valores máximos aparecen en la Masa 2 en el 1º muestreo en las proximidades de la Algameca y también en el punto 14 (Figura 166).

El control de los valores de pH sobre los metales también presenta una relación inversa en la tendencia de los valores de plomo para las diferentes masas de agua (Figuras 42 y 166).

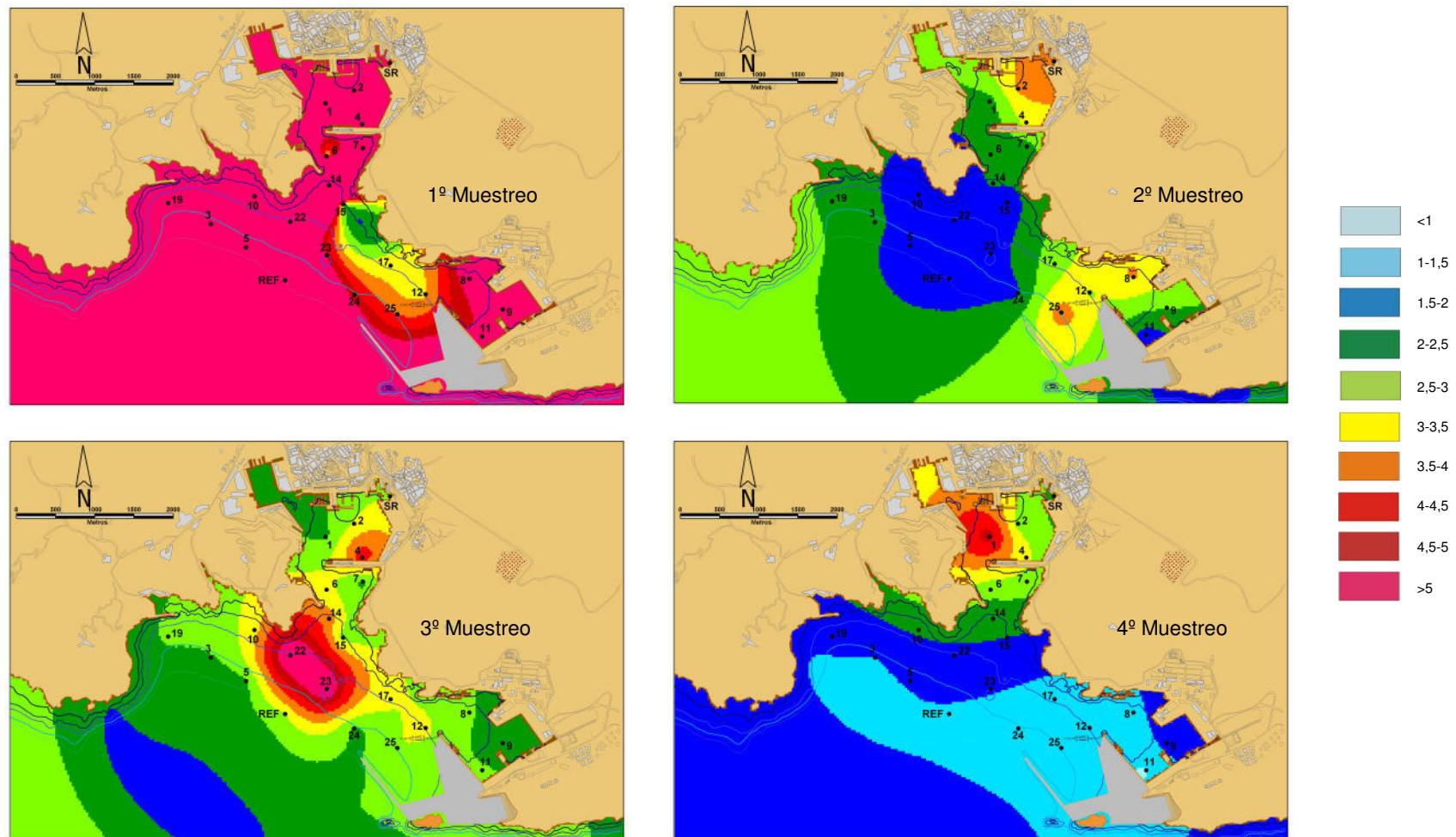


Figura 166. Distribución espacial de plomo ($\mu\text{g/l}$) en base a los valores medios en cada punto de muestreo

- Mercurio

El mercurio únicamente se determinó en el primer muestreo.

La distribución de frecuencias para las concentraciones de mercurio se ajustan a una *chi-cuadrado*, donde la mayor frecuencia corresponde a los valores menores y entre 0 y 2,5 µg/l y los valores máximos son puntuales y están en torno a 17 µg/l; siendo la media de 1,77 µg/l (Figura 167).

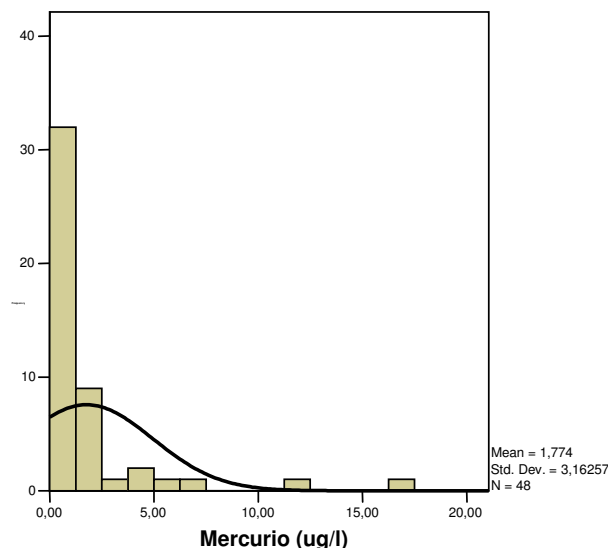


Figura 167. Distribución de frecuencias de mercurio (µg/l)

Para analizar mejor la distribución de frecuencias de mercurio se toma la desviación estándar para este parámetro (3,16 µg/l, Tabla 11) y se le suma al valor de la media (1,77 µg/l) obteniendo 4,93 µg/l, valor a partir del cual se consideran valores anómalos (Pérez, 2004) que se eliminan de la representación de frecuencias (Figura 168).

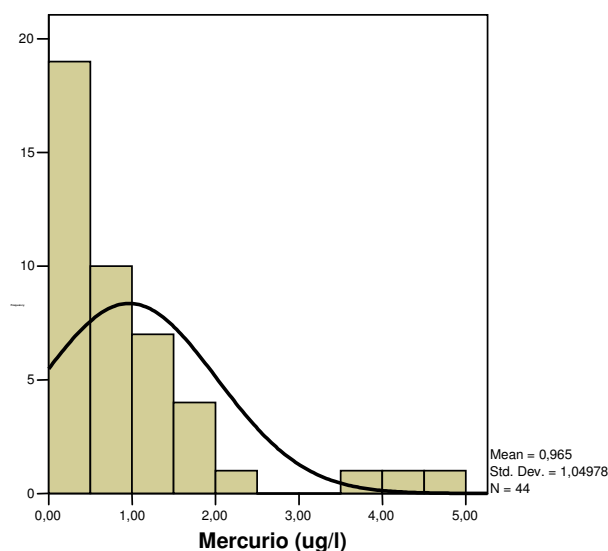


Figura 168. Distribución de frecuencias de mercurio para muestras con valores inferiores de 4,93 $\mu\text{g/l}$

Se obtiene una distribución donde los valores más frecuentes se sitúan entre 0 y 0,5 $\mu\text{g/l}$. La media se desplaza a 0,97 $\mu\text{g/l}$ (Figura 168). Esta nueva media puede indicar los valores de fondo de la zona de estudio, sumándole la desviación estándar (1,05 $\mu\text{g/l}$, Figura 168) se obtiene un valor de 2,02 $\mu\text{g/l}$, valor por encima del cual se estaría fuera de los valores de fondo de la zona de estudio.

Se han representado las variaciones de concentración de mercurio con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) los valores de mercurio en los puntos 1 y 4 tienen igual tendencia, aumentando de superficie a 5 m para disminuir hasta 10 m alcanzando valores similares a los de superficie ($< 2 \mu\text{g/l}$), siendo esta tendencia más acentuada en el punto 4. Destaca el punto 2 con la tendencia contraria y valores en superficie y a 10 m por encima de $10 \mu\text{g/l}$, frente a valores a 5 m próximos a cero (Figura 169), esta tendencia parece debida a un aporte en superficie del metal que es fijado por la materia orgánica y una liberación desde el sedimento al degradarse esta materia orgánica, esto también indica que el aporte no es puntual si no que tiene permanencia en el tiempo.

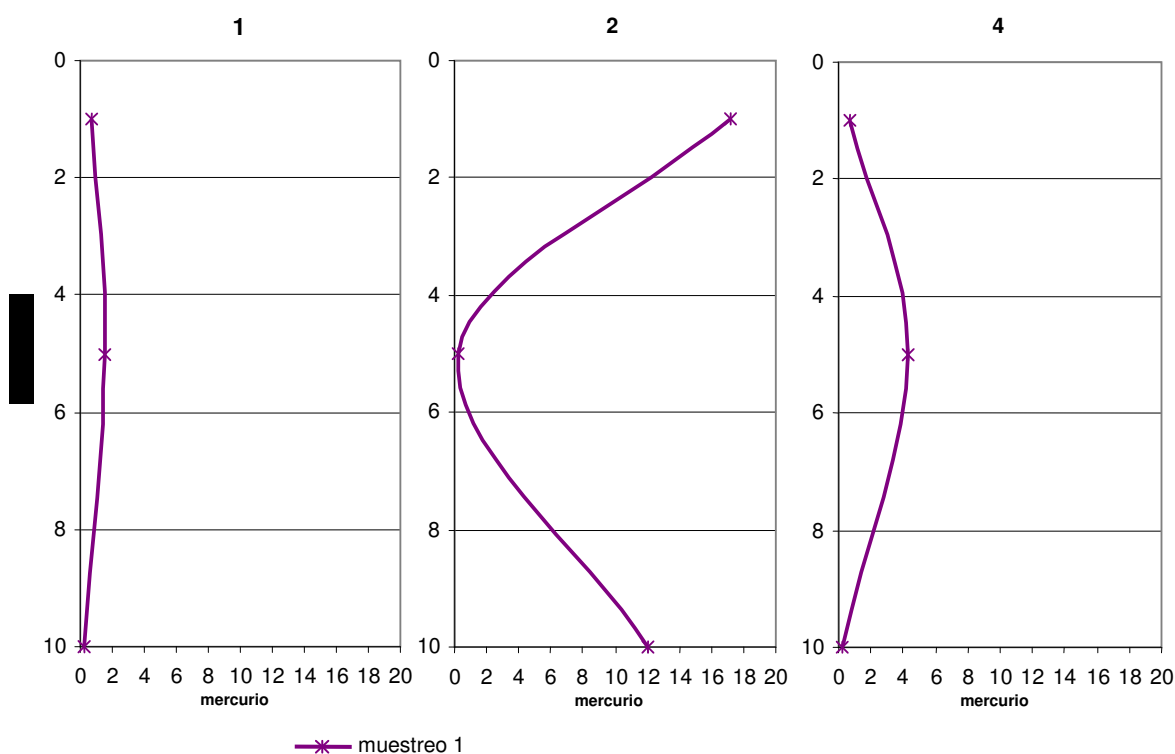
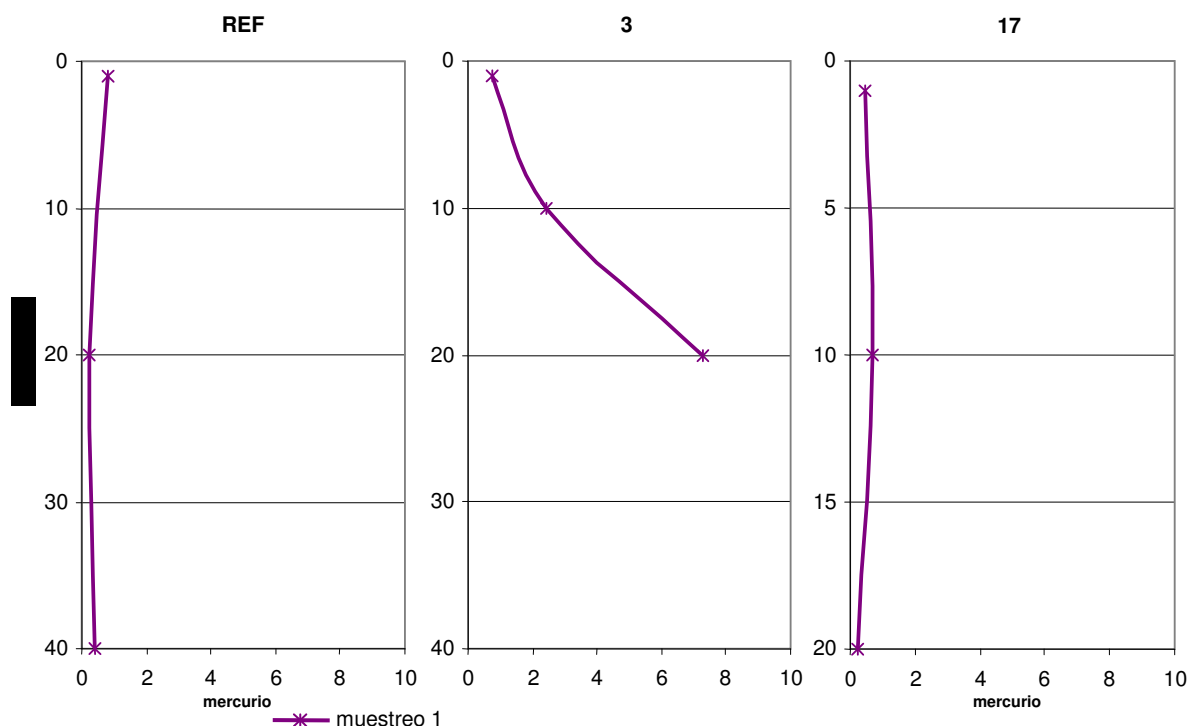


Figura 169. Distribución de mercurio ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Cartagena.

La mayoría de los valores en los puntos 1 y 4 son menores de $2 \mu\text{g/l}$ y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro ($2,02 \mu\text{g/l}$). En el punto 2 en superficie y a 10 m los valores son mayores de $10 \mu\text{g/l}$ (Figura 169).

Las tendencias de los valores de mercurio en esta zona se relacionan de manera inversa con las tendencias de los valores de cadmio (Figura 156).

En la **zona exterior** (Masa 2) los valores de concentración de mercurio son bajos y constantes, a excepción del punto 3 donde a partir de superficie, con un valor similar a los demás puntos, se observa un aumento hasta llegar a 20 m donde se alcanza un valor de 7,3 $\mu\text{g/l}$ (Figura 170).



*La escala vertical del punto 17 está duplicada

Figura 170. Distribución de mercurio ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona exterior.

La mayoría de los valores son menores de 2 $\mu\text{g/l}$ y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro (2,02 $\mu\text{g/l}$). En el punto 3 a 20 m de profundidad los valores son mayores de 5 $\mu\text{g/l}$ (Figura 170).

Las tendencias de los valores de mercurio en esta zona se relacionan de manera directa con las tendencias de los valores de cobre y cadmio (Figuras 150 y 157).

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los valores son también bajos y con una tendencia similar para todos los puntos, excepto el punto 9 donde se invierte la tendencia. Se debe destacar como el punto 12 presenta valores mayores que el resto en superficie y, sobre todo, a 5 m de profundidad (Figura 171).

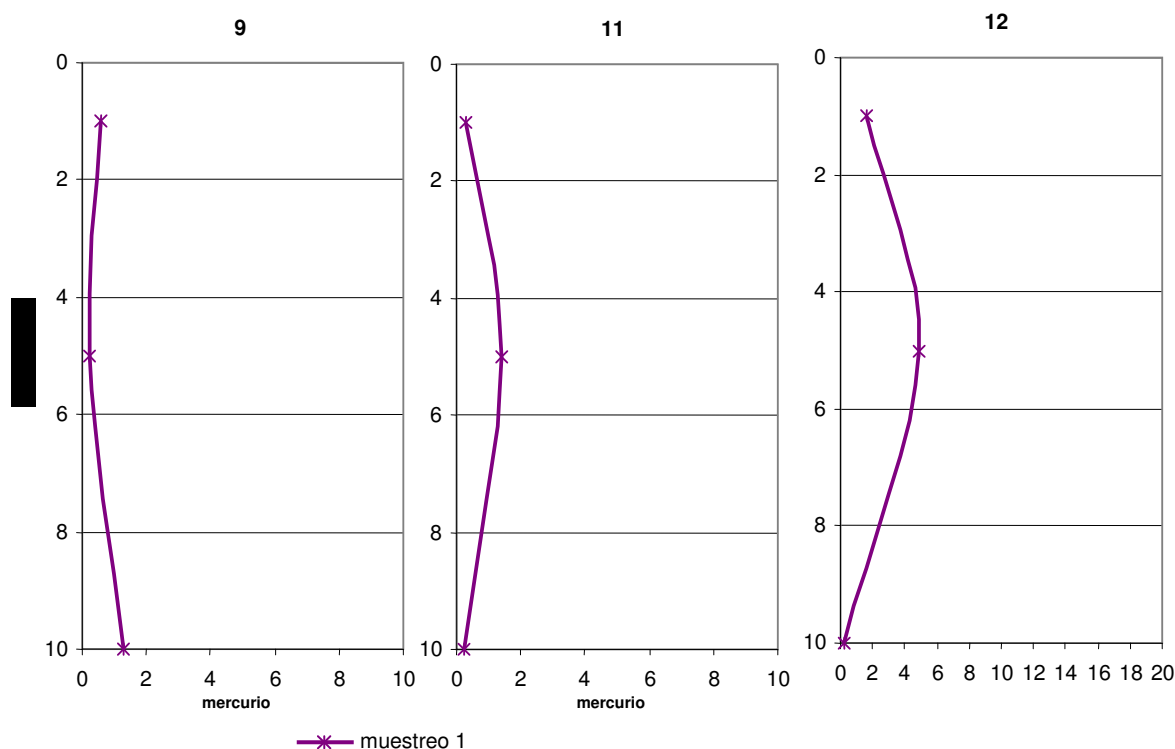


Figura 171. Distribución de mercurio ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la dársena de Escombreras.

La mayoría de los valores son menores de $2 \mu\text{g/l}$ y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro ($2,02 \mu\text{g/l}$) excepto en el punto 12 a 5 m los valores son mayores de $5 \mu\text{g/l}$ (Figura 171).

En la **zona de transición** (Masa 4) la tendencia es similar en el punto 6 y el 14 disminuyendo los valores de mercurio de superficie a 5 m para mantenerse hasta 10 m en el punto 6, y aumentar ligeramente a 10 m en el punto 14 lo cual sugiere cierta removilización desde el sedimento (Figura 172).

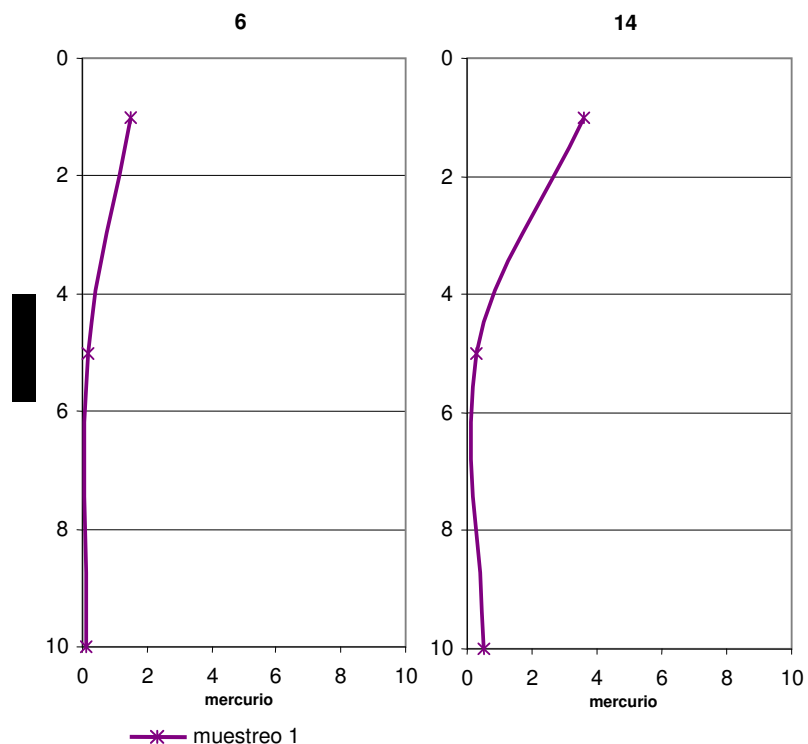


Figura 172. Distribución de mercurio ($\mu\text{g/l}$) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo

Los valores entre 5 y 10 m son menores de $2 \mu\text{g/l}$ y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro ($2,02 \mu\text{g/l}$). En superficie en ambos puntos se superan los $2 \mu\text{g/l}$ con el valor mayor en el punto 14 (Figura 172) lo cual sugiere aportes en superficie.

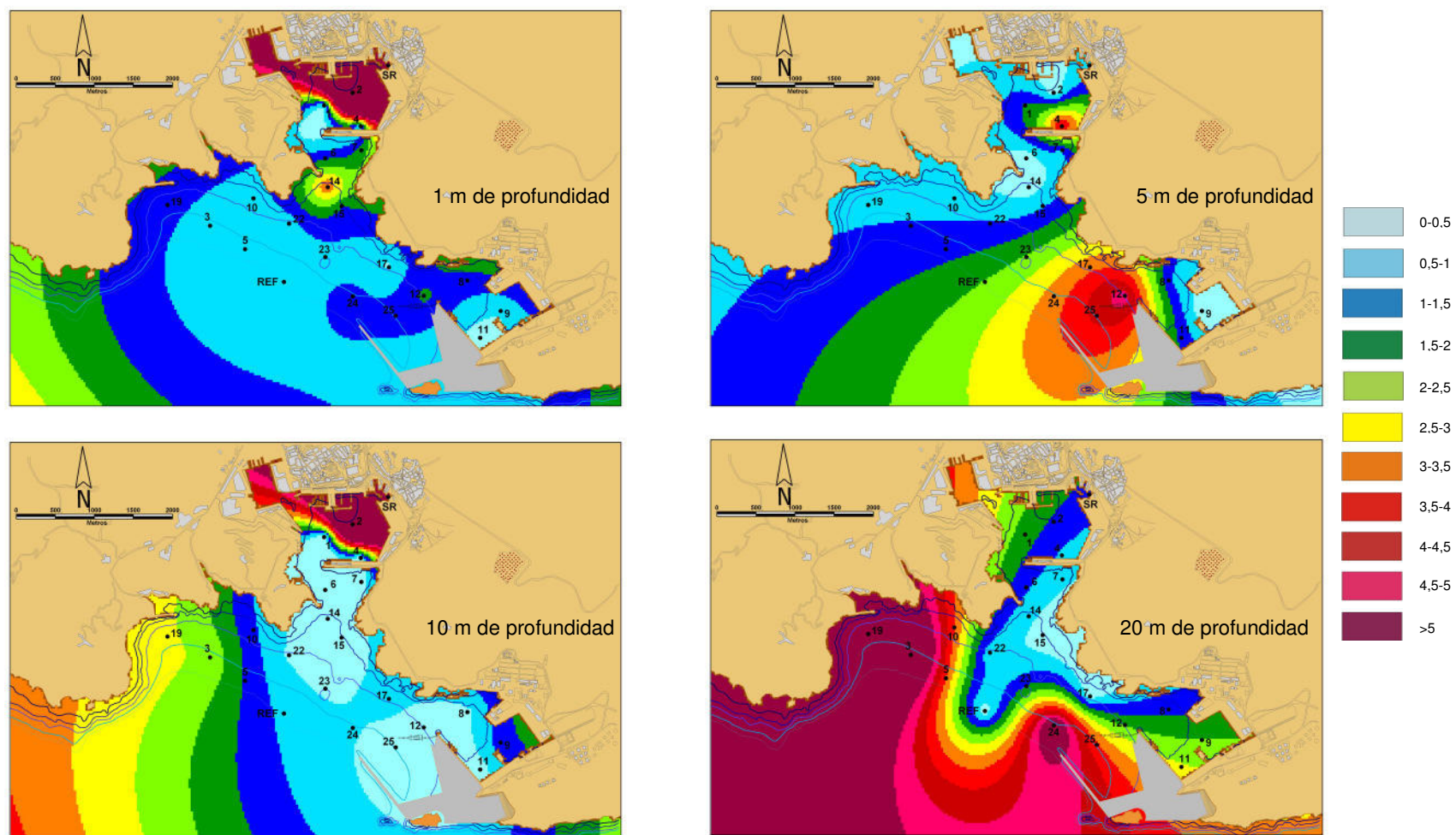


Figura 173. Distribución espacial de mercurio ($\mu\text{g/l}$) por profundidades durante el 1º muestreo

La distribución espacial de mercurio se ha representado en función de la profundidad (Figura 173).

En general es el pH el parámetro que ejerce control sobre todos los metales pesados a excepción del mercurio, de manera que ante ascensos de pH, como los del 4º muestreo, las concentraciones de metales disminuyen.

Los valores de clorofila A tienen en las Masas 1 y 3 tienen relación con las concentraciones de hierro, zinc y cobre, el aumento de clorofila A va acompañado con el aumento de estos metales, este efecto es más evidente en el 2º muestreo, coincidiendo con los mayores valores de clorofila A.

Los sulfatos están relacionados con hierro, cobre y cadmio con tendencias inversas en la dársena de Cartagena (Masa 1) y con cobre y cadmio con tendencia similar en la zona exterior (Masa 2).

8.4.1.4. Nutrientes

El fitoplacton marino precisa de ciertos nutrientes para su crecimiento, los más importantes son nitrógeno y fósforo. La producción de nitrógeno está limitada en el medio marino, las tres formas de nitrógeno inorgánico en el agua de mar son nitratos, nitritos y amonio, siendo el nitrato la especie mayoritaria. Los fosfatos son adsorbidos por la materia orgánica particulada y forman sales insolubles por lo que en raras ocasiones aparecen en concentraciones mayores que los nitratos (Kennish, 2000).

El enriquecimiento en nutrientes de las aguas costeras debido fundamentalmente al vertido de aguas residuales provoca problemas de eutrofización que degradan la calidad de estas aguas. El exceso de entradas de nutrientes en el sistema estimula la producción de fitoplacton y flora bentónica, esta abundancia de vida vegetal da lugar a disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto pudiendo llegar a situaciones de anoxia (< 0 mg/l de oxígeno disuelto) o incluso hipoxia (< 2 mg/l de oxígeno disuelto) (Kennish, 2000).

- Fosfatos

Las especies inorgánicas fosfatadas presentes en la columna de agua dependen del pH de la misma y la salinidad; en el agua de mar con pH entorno a 8,3 y salinidad media de 35 g/l la forma mayoritaria es fósforo inorgánico en su forma de ortofosfato (PO_4^{3-}) (Millero, 2006) (Figura 174)

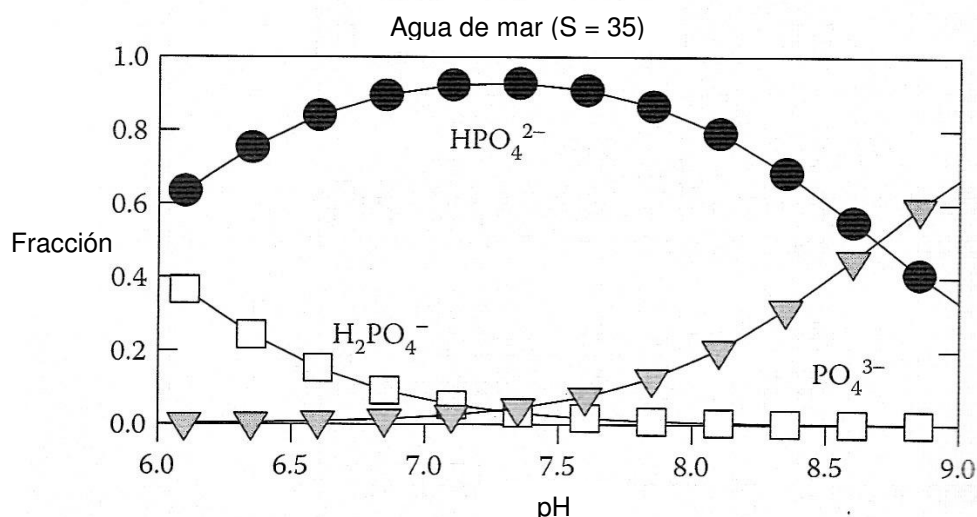


Figura 174. Especies de fósforo inorgánico en agua de mar (Millero; 2006).

La distribución de las diferentes formas de fosfatos en agua de mar está controlada por procesos biológicos y físicos. Así el incremento de presión genera una mayor disociación que incrementa la concentración de PO_4^{3-} con la profundidad y tiende a unirse con los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} hasta en un 73% (Millero, 2006). Los valores óptimos de PO_4^{3-} suelen estar entre 0 y 0,3 mg/l (Kennish, 2000).

En superficie el fitoplacton consume el fósforo presente, al morir este fitoplacton el fósforo asimilado por el mismo es rápidamente convertido en PO_4^{3-} . En superficie la mayoría del fósforo presente es orgánico, mientras que en profundidad es inorgánico. En las aguas costeras la distribución estacional de fósforo va a depender tanto de los vertidos como del desarrollo del fitoplacton, generalmente en invierno la mezcla de las aguas da lugar a perfiles en profundidad lineales, mientras que tras los “blooms” de primavera y verano las concentraciones decrecen considerablemente (Millero, 2006).

La distribución de los valores de fosfatos determinados en esta Tesis se adapta a una *chi-cuadrado* donde las mayores frecuencias se encuentran hacia los valores más bajos (0-0,1 mg/l) y los valores máximos son puntuales entre 2 y 2,5 mg/l. La media es de 0,07 mg/l (Figura 175), de acuerdo con los valores óptimos en agua de mar (0 - 0,3 mg/l) (Kennish, 2000).

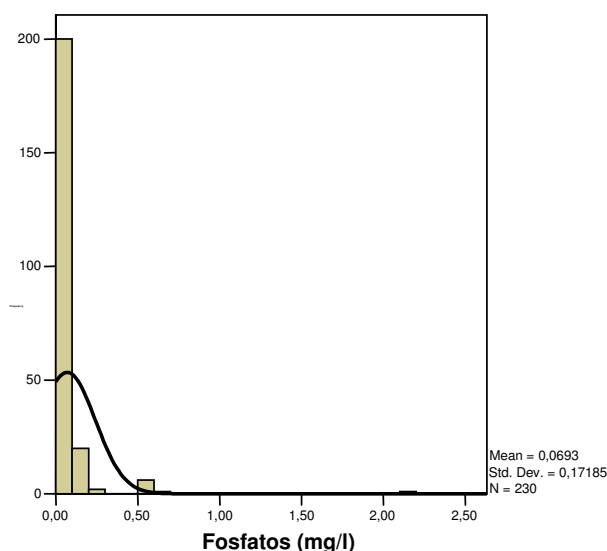


Figura 175. Distribución de frecuencias de fosfatos (mg/l)

Para analizar mejor la distribución de frecuencias de fosfatos se toma la desviación estándar para este parámetro (0,17 mg/l, Tabla 11) y se le suma al valor de la media (0,07 mg/l) obteniendo 0,24 mg/l, valor a partir del cual se consideran valores anómalos (Pérez, 2004) que se eliminan de la representación de frecuencias (Figura 176).

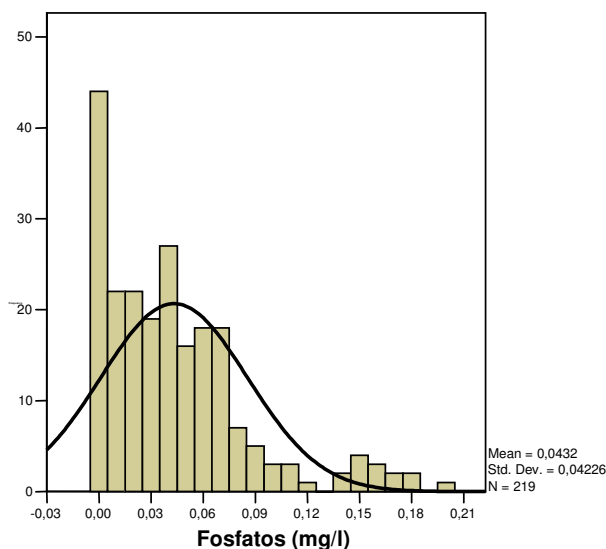


Figura 176. Distribución de frecuencias de fosfatos para muestras con valores inferiores a 0,24 mg/l

Se obtiene una distribución de frecuencias donde la media se desplaza a 0,04 mg/l (Figura 176). Esta nueva media puede indicar los valores de fondo de la zona de estudio, sumándole la desviación estándar (0,04 mg/l, Figura 176) se obtiene un valor de 0,08 mg/l, valor por encima del cual se estaría fuera de los valores de fondo de la zona de estudio.

Se han representado las variaciones de concentración de fosfatos con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 177 a 180).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) los valores son bajos y, a excepción del punto 1, no hay una tendencia muy marcada. Los valores menores corresponden en todos los puntos al 4º muestreo, presentando este muestreo y el 2º siempre una tendencia similar para cada punto (Figura 177).

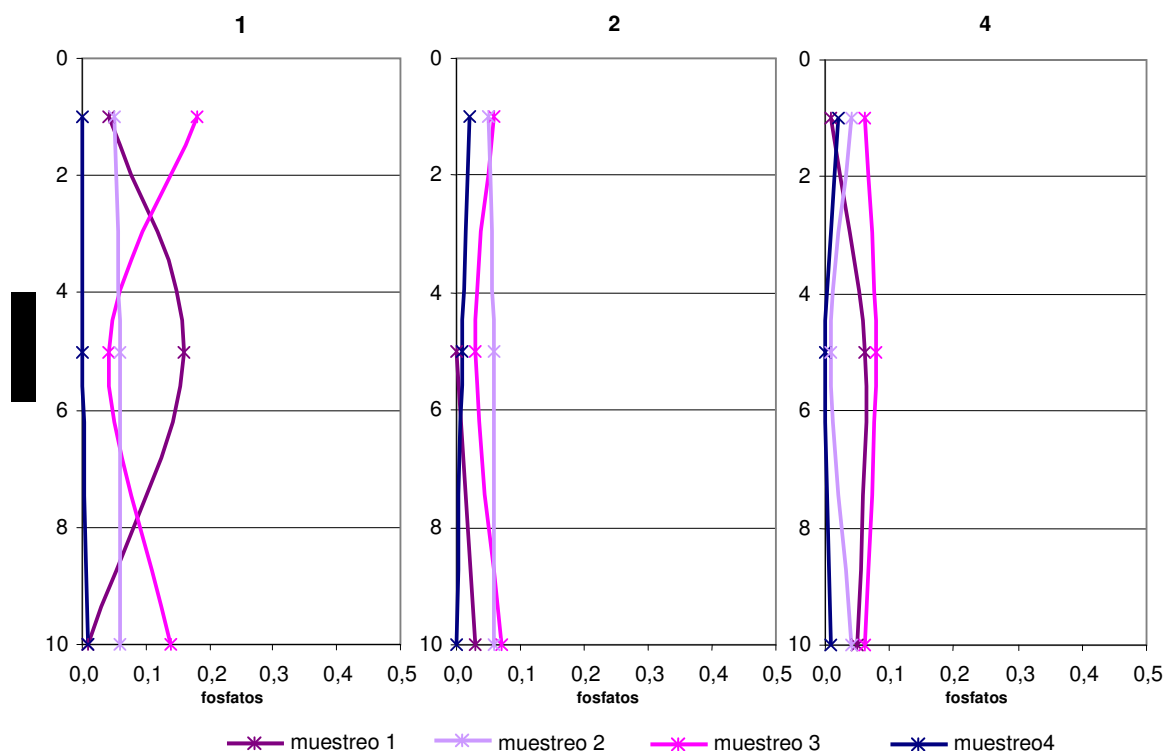
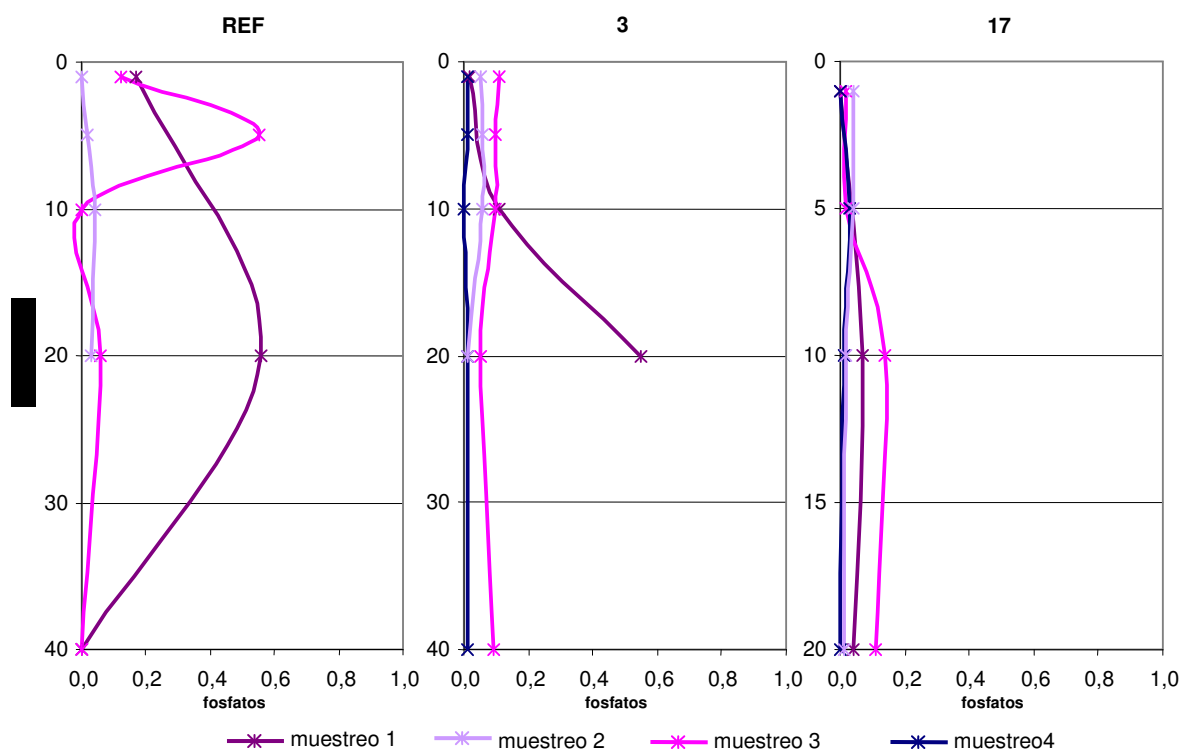


Figura 177. Distribución de fosfatos (mg/l) con la profundidad en dársena de Cartagena para cada muestreo.

La mayoría de los valores son menores de 0,1 mg/l y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro (0,08 mg/l) excepto en el punto 1, 1º y 3º muestreo, donde a 5 m se superan los 0,1 mg/l (Figura 177), aunque sin llegar a los 0,3 mg/l, límite superior para los valores normales en las aguas marinas (Kennish, 2000).

En los puntos 1 y 2, 3º muestreo, parece existir un aporte en superficie de fosfatos que es consumido por el fitoplacton, lo cual hace disminuir las concentraciones de este parámetro hasta 5 m de profundidad, a 10 m tenemos de nuevo valores más elevados, lo cual puede indicar aportes desde sedimentos con abundante en materia orgánica (Figura 177).

En la **zona exterior** (Masa 2) los muestreos 2º y 4º presentan los valores menores y 1º y 3º los mayores al igual que en la Masa 1. Las tendencias del 1º muestreo es la de aumentar hasta 20 m de profundidad y luego disminuir hasta valores mínimos a la máxima profundidad. El 3º muestreo en los puntos REF y 3 aumenta los valores de fosfatos hasta 5 m y luego desciende hasta valores mínimos a los 10 m donde se estabiliza, en el punto 17 permanece prácticamente constante hasta 5 m para luego aumentar hasta 10 m y finalmente mantenerse prácticamente constante hasta 20 m (Figura 178).



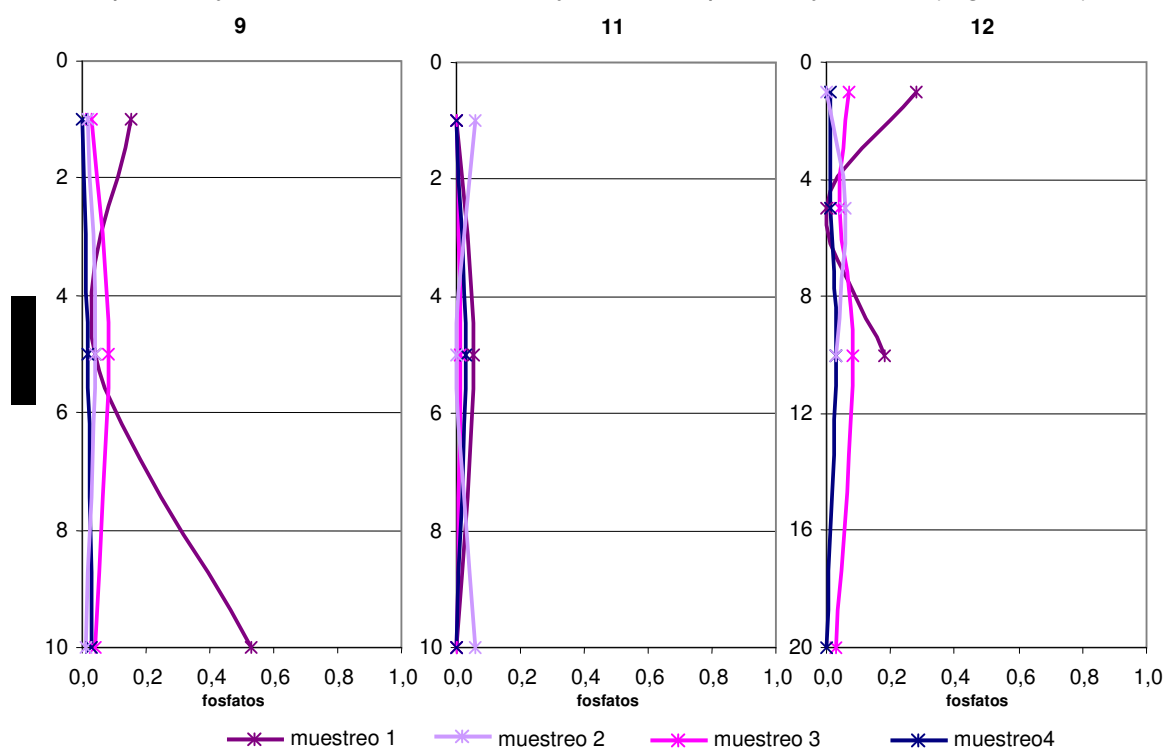
*La escala vertical del punto 17 está duplicada

Figura 178. Distribución de fosfatos (mg/l) con la profundidad en zona exterior para cada muestreo.

La mayoría de los valores son menores de 0,1 mg/l y por lo tanto dentro de los rangos considerados de fondo para este parámetro (0,08 mg/l) excepto en el punto REF para el 1º muestreo a 20 m y 3º muestreo a 5 m, donde se superan los 0,5 mg/l, e igualmente ocurre para el 1º muestreo en el punto 3 a 20 m (Figura 178), se superan en estos puntos los 0,3 mg/l, límite superior para los valores normales en las aguas marinas (Kennish, 2000).

En esta zona la tendencia de la concentración de fosfatos resulta ser la inversa de la que sigue la concentración de magnesio (Figura 111), los fosfatos aumentan con la profundidad (Figura 178) disminuyendo el magnesio.

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los valores son bajos a excepción del 1º muestreo que en los puntos 9 y 12 tiene una tendencia similar entre superficie y 10 m con los valores mayores en superficie y a 10 m (Figura 179).



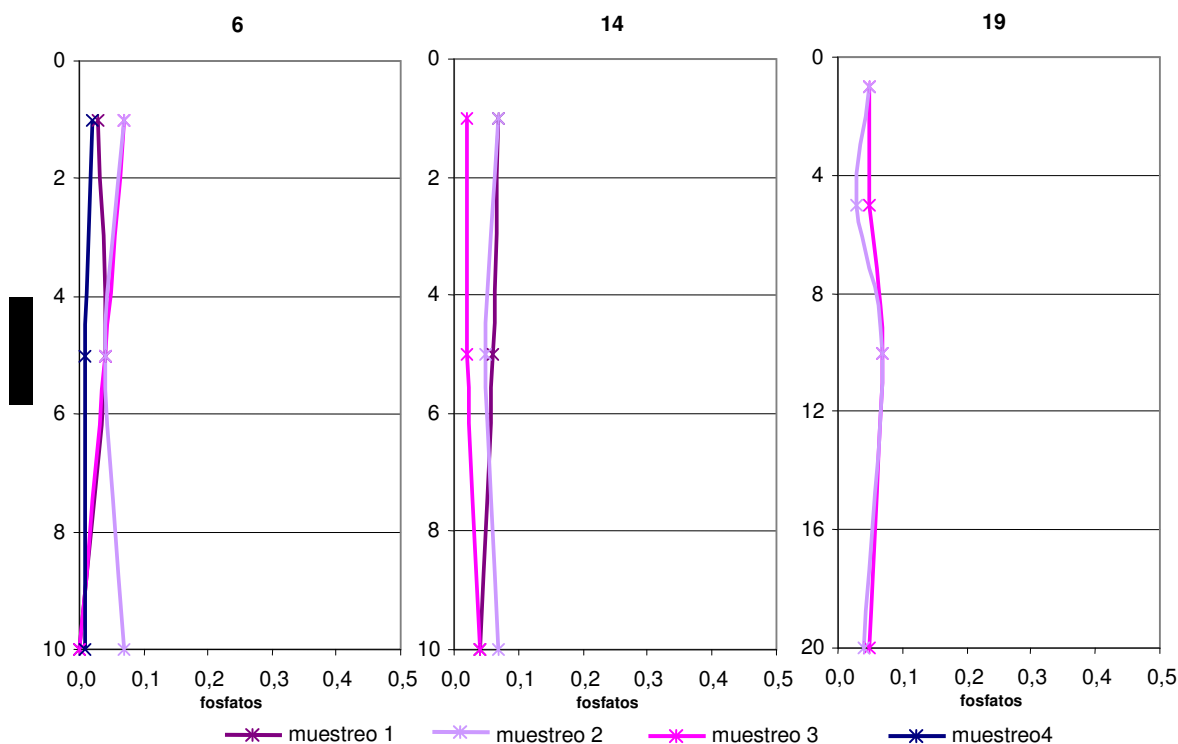
*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

Figura 179. Distribución de fosfatos (mg/l) con la profundidad en dársena de Escombreras para cada muestreo.

La mayoría de los valores son menores de 0,1 mg/l y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro (0,08 mg/l) excepto en los puntos 9 y 12 para el 1º muestreo en superficie y a 20 m, donde se superan los 0,3 mg/l, límite superior para los valores normales en las aguas marinas (Kennish, 2000).

En la **zona de transición** (Masa 4) los valores son en su totalidad menores de 0,1 mg/l y por lo tanto dentro de los valores considerados de fondo para este parámetro (0,08 mg/l). En los puntos 6 y 14 la tendencia general es a disminuir con la profundidad, excepto en el caso del 2º muestreo donde tiende a aumentar entre 5 y 10 m (Figura 180).

En el punto 19 los valores de fondo y superficie son similares en el 2º muestreo que corresponde además al máximo de clorofila A (Figura 180).



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 180. Distribución de fosfatos (mg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo

En la zona de transición, 2º muestreo, la tendencia para la concentración de fosfatos es la inversa de la de los valores de clorofila A para la misma zona y muestreo (Figura 71). Sin embargo para el mismo muestreo la tendencia de los valores de potencial Redox es similar, el aumento de potencial Redox se corresponde con el aumento de las concentraciones de fosfatos (Figuras 77 y 180).

La distribución espacial de fosfatos se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 181), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 73 a 75, Anexo III).

Se observa como los menores valores de fosfatos corresponden al 2º muestreo, coincidiendo con el máximo de clorofila A. Los valores máximos corresponden al 1º en las proximidades de la Algameca y al 3º muestreo en la zona exterior (Masa 2) (Figura 181).

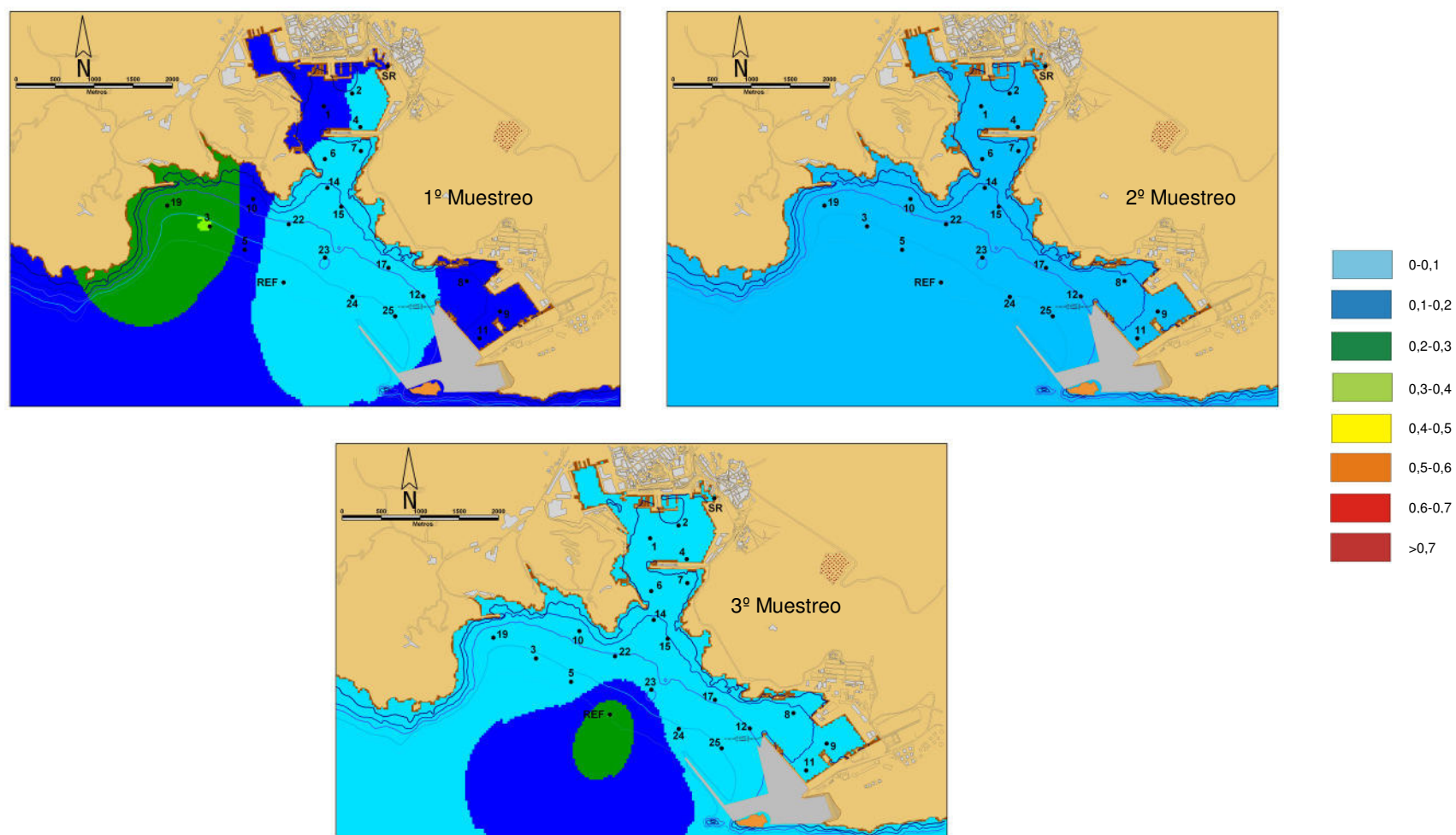


Figura 181. Distribución espacial de fosfatos (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo

- Amonio

El amonio puede aparecer en dos formas (NH_4^+ y NH_3) en función del pH; a pH en torno a 8,1 del total de amonio el 75% está en forma de NH_4^+ y el 5% de NH_3 , siendo las concentraciones habituales entre 0,02 y 0,90 mg/l (Millero; 2006).

La distribución de los valores de amonio medidos en esta Tesis se adapta a una distribución normal de frecuencias, donde los valores más bajos corresponden a 0,5 mg/l y los valores máximos a 2 mg/l con un valor puntual de 6,2 mg/l. La media es de 0,93 mg/l (Figura 182) valor próximo al límite superior de concentraciones habituales en las aguas marinas.

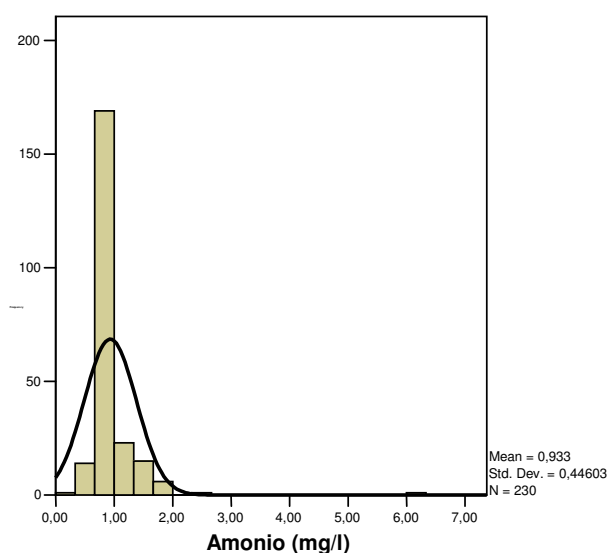


Figura 182. Distribución de frecuencias de amonio (mg/l)

Se han representado las variaciones de concentración de amonio con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 183 a 186).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) los muestreos 1º y 2º presentan tendencias contrarias, mientras que el 3º y 4º muestreo tienen tendencias similares y valores medios entre los dos anteriores, 1º muestreo los más altos y 2º muestreo los menores (Figura 183).

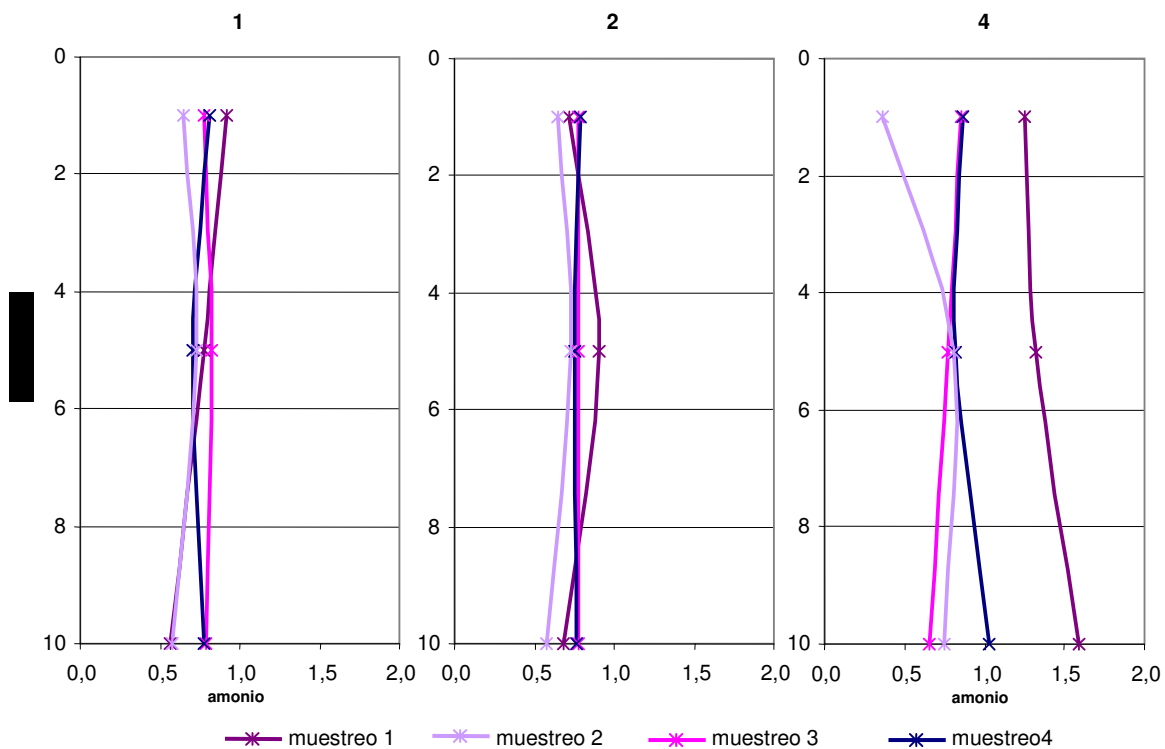
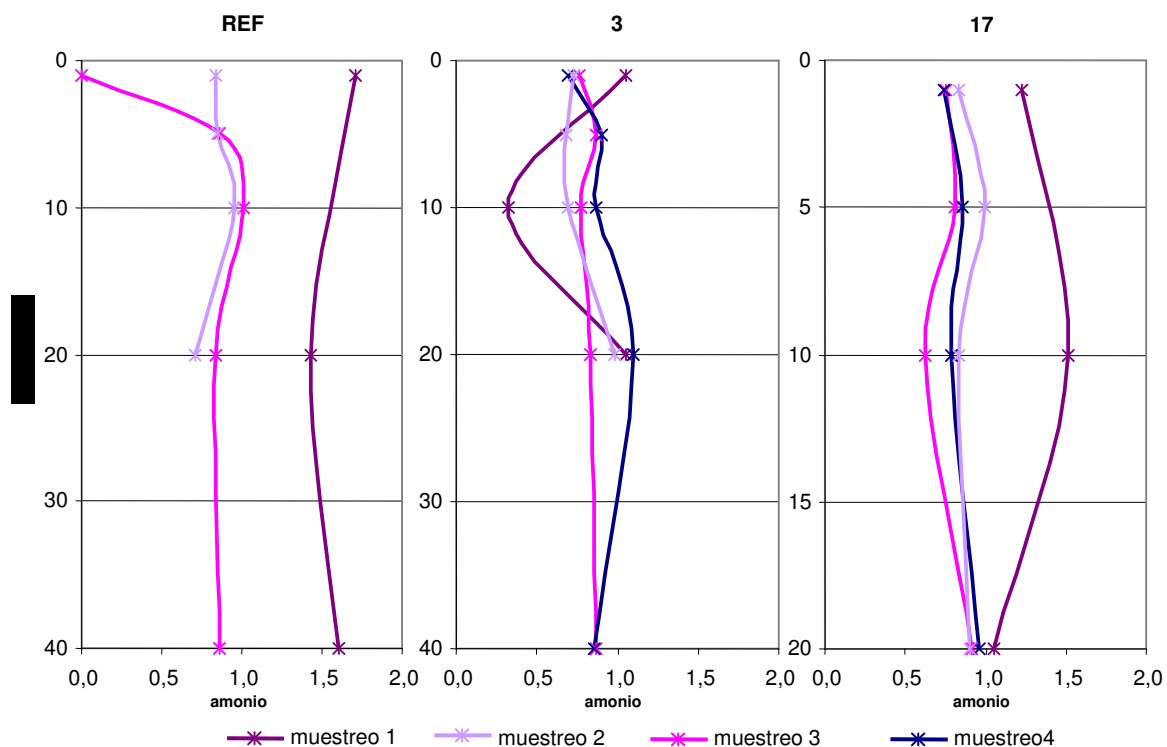


Figura 183. Distribución de amonio (mg/l) con la profundidad en dársena de Cartagena para cada muestreo.

La mayoría de los valores son menores de 1 mg/l y por lo tanto dentro de los valores considerados habituales para este parámetro (0,9 mg/l) excepto en el punto 4 para el 1º muestreo donde se superan los 1,5 mg/l.

En la **zona exterior** los muestreos 2º, 3º y 4º muestran una tendencia similar en todos los puntos, ligero aumento hasta 5 m de profundidad, ligero descenso hasta 10-20 m de profundidad y hasta la profundidad máxima se mantiene constante o aumenta ligeramente. El muestreo 1º tiene un comportamiento diferente caracterizado por valores mayores en todos los puntos excepto el punto 3 a 10 m (Figura 184).

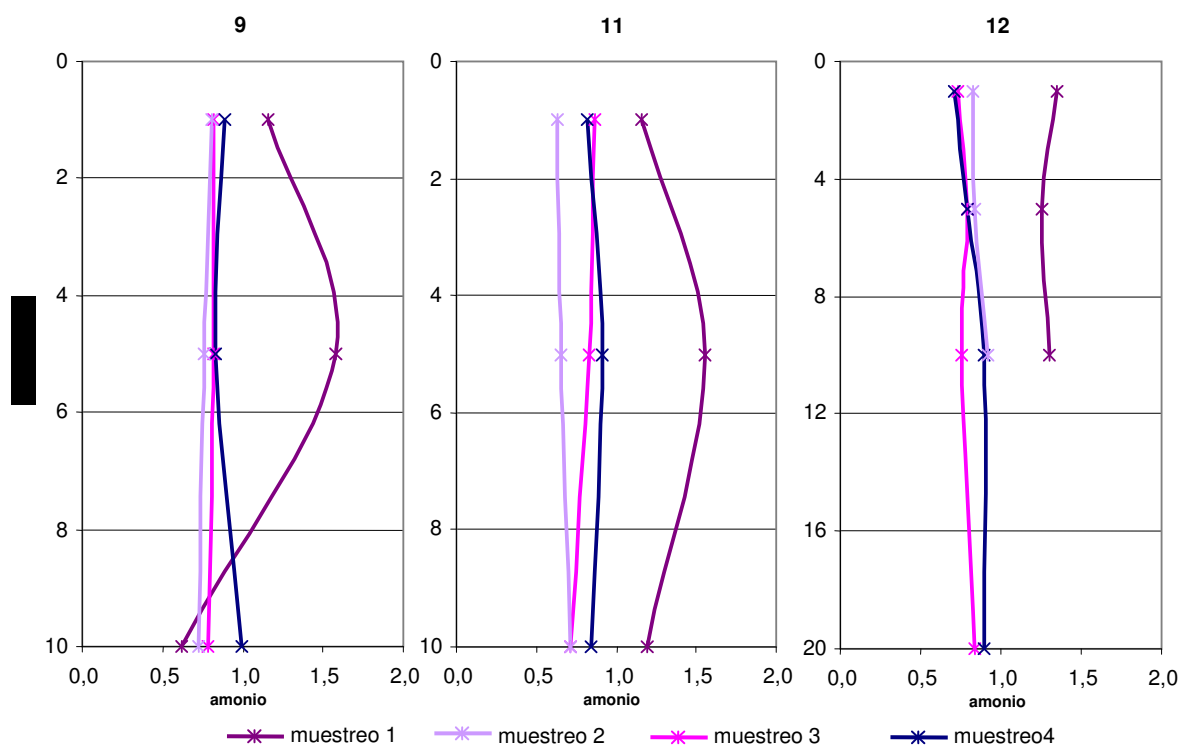


*La escala vertical del punto 17 está duplicada

Figura 184. Distribución de amonio (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo.

La mayoría de los valores son menores de 1 mg/l y por lo tanto dentro de los valores considerados habituales para este parámetro (0,9 mg/l) excepto en el 1º muestreo, en todos los puntos donde se superan 1 mg/l e incluso 1,5 mg/l (Figura 184).

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) el 1º muestreo presenta los valores más elevados en todos los puntos, descendiendo con la profundidad hasta igualarse con el resto de muestreos a 10 m en el punto 9 y en el punto 11 disminuyen los valores, pero quedan por encima del resto de los muestreos. El 2º, 3º y 4º muestreo tienen tendencias similares y valores menores y más homogéneos (Figura 185).



*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

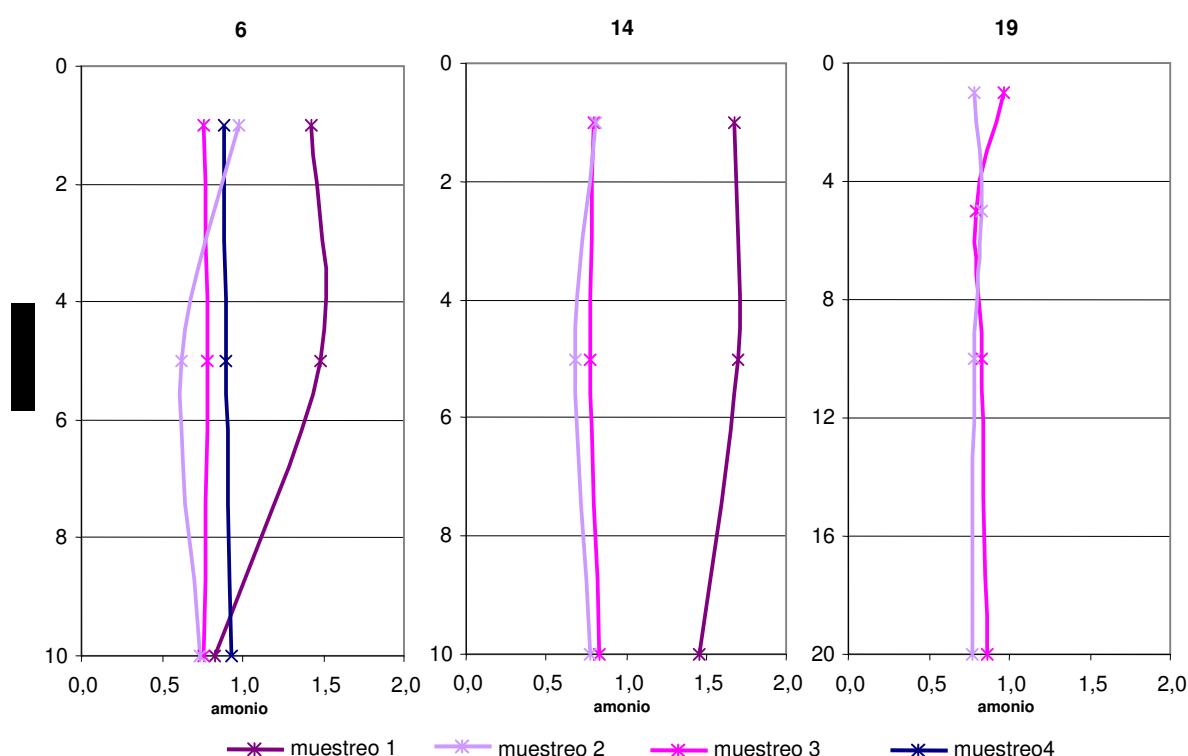
Figura 185. Distribución de amonio (mg/l) con la profundidad en dársena de Escombreras para cada muestreo.

La mayoría de los valores son menores de 1 mg/l y por lo tanto dentro de los valores considerados habituales para este parámetro (0,9 mg/l) excepto en el 1º muestreo, en todos los puntos donde se supera 1 mg/l (Figura 185).

En la **zona de transición** (Masa 4) las tendencias para cada muestreo en los puntos 6 y 14 son similares. Destaca el comportamiento contrario de la tendencia del 1º muestreo frente al 2º, este disminuye los valores de superficie a 5 m para aumentar ligeramente hasta 10 m (Figura 186). Los valores del 1º muestreo son los mayores en la zona.

En el punto 19 la tendencia del 2º y 3º muestreo son opuestas, el 2º muestreo aumenta las concentraciones de amonio de superficie a 5 m para descender luego levemente hasta 20 m.

En el punto 19 los valores de fondo y superficie son similares en el 2º muestreo y corresponde con el máximo de clorofila A (Figura 186).



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 186. Distribución de amonio (mg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo

La mayoría de los valores son menores de 1 mg/l y por lo tanto dentro de los rangos considerados habituales para este parámetro (0,9 mg/l) excepto en el 1º muestreo donde se supera 1 mg/l (Figura 186).

Comparando las tendencias de amonio en cada masa de agua con las de otros parámetros analizados se observa que existe una relación inversa en la dársena de Cartagena, la zona exterior y la zona de transición en el 2º muestreo con los valores de clorofila A (Figura 71). En el caso de los valores de oxígeno disuelto la relación entre tendencias es directa, el descenso de las concentraciones de oxígeno disuelto coincide con los de concentraciones de amonio.

La distribución espacial de amonio se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 187), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 76 a 79, Anexo III).

Los valores mayores se observan en el 1º muestreo en la zona exterior y los menores en el 2º muestreo en la dársena de Cartagena (Figura 187).

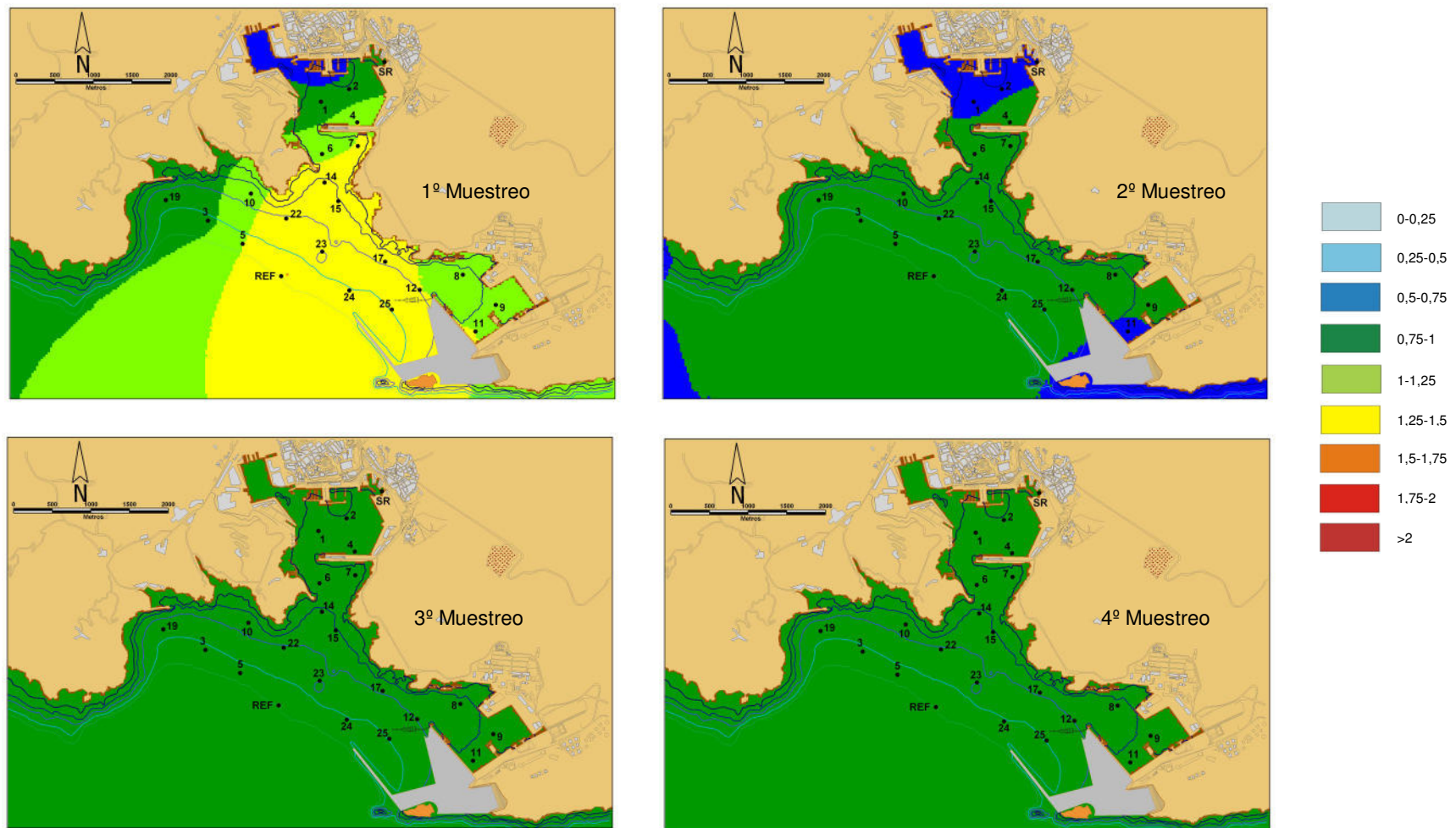


Figura 187. Distribución espacial de amonio (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo

- Nitritos

Los valores de nitritos en agua de mar suelen estar entre 0,005 y 2 mg/l (Millero, 2006).

La distribución de valores de nitritos no se adapta a una curva normal, los valores más bajos corresponden a 0,01 mg/l y los valores máximos a 0,1 mg/l, la media es de 0,014 mg/l (Figura 188), valor dentro del rango establecido como normal en agua de mar (Millero, 2006).

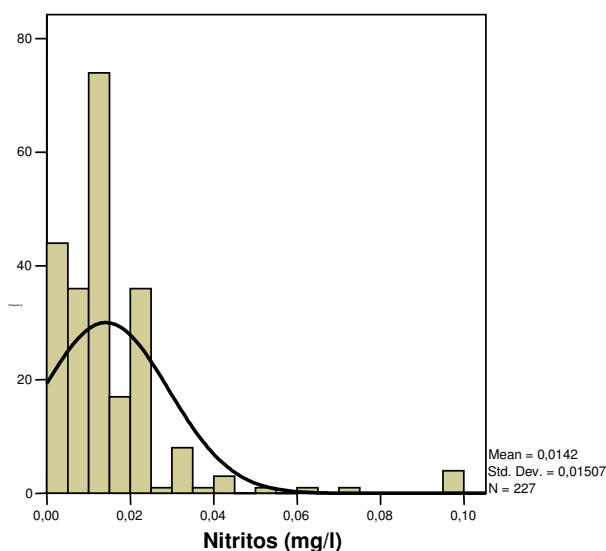


Figura 188. Distribución de frecuencias de nitritos (mg/l)

Para analizar mejor la distribución de frecuencias de nitritos se toma la desviación estándar para este parámetro (0,06 mg/l, Tabla 11) y se le suma al valor de la media (0,02 mg/l) obteniendo 0,08 mg/l, valor a partir del cual se consideran valores anómalos (Pérez, 2004) que se eliminan de la representación de frecuencias (Figura 189).

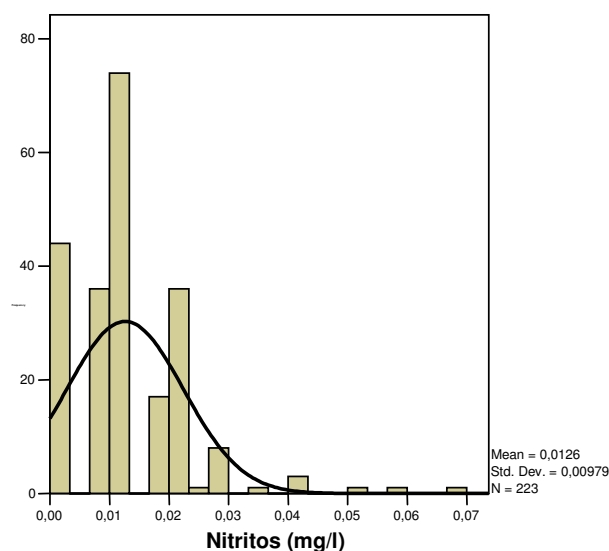
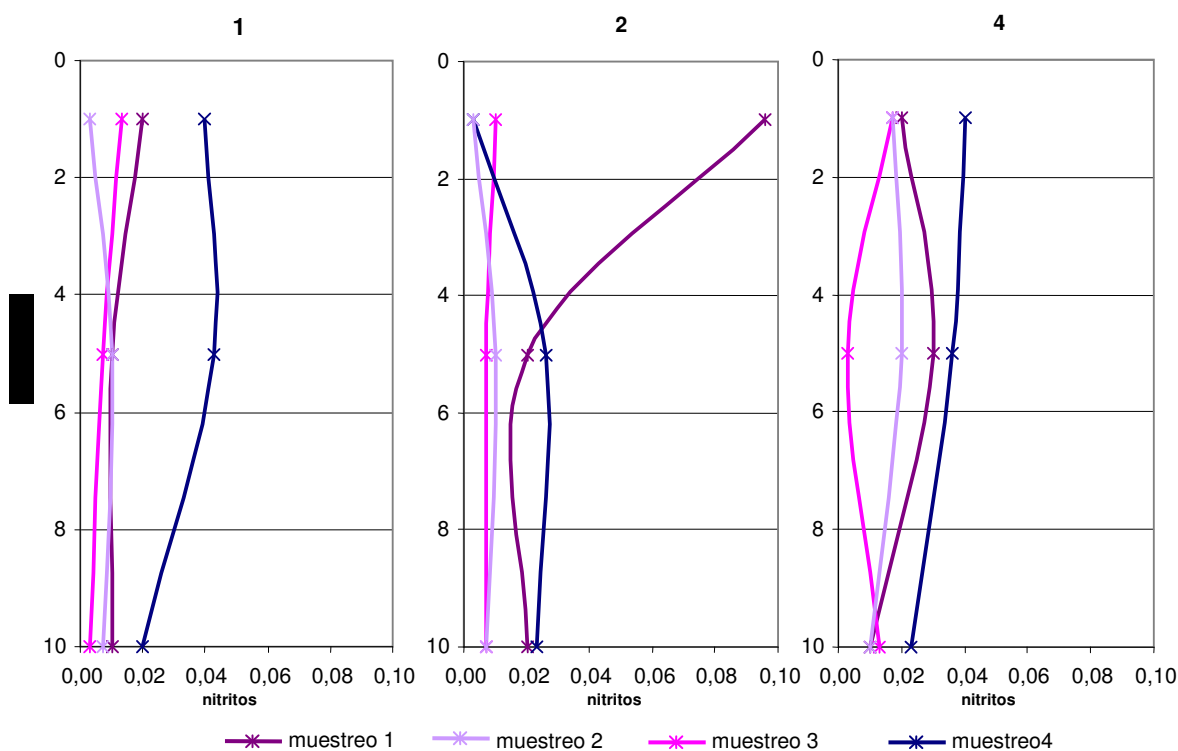


Figura 189. Distribución de frecuencias de nitritos para muestras con valores inferiores a 0,08 mg/l

Se obtiene una distribución de frecuencias donde la media se desplaza a 0,0013 mg/l (Figura 189). Esta nueva media puede indicar los valores de fondo de la zona de estudio, sumándole la desviación estándar (0,01 mg/l, Figura 189) se obtiene un valor de 0,011 mg/l, por encima del cual se está fuera de los valores de fondo de la zona de estudio, aunque dentro del rango que se establece como normal en el agua de mar.

Se han representado las variaciones de concentración de nitritos con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 190 a 193).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) los valores son menores y más homogéneos en profundidad. El 1º y 4º muestreo son los que presentan valores más altos, y 2º y 3º los menores coincidiendo, en sentido contrario con los valores de clorofila A. La tendencia general es a descender o mantenerse constantes con la profundidad. (Figura 190).



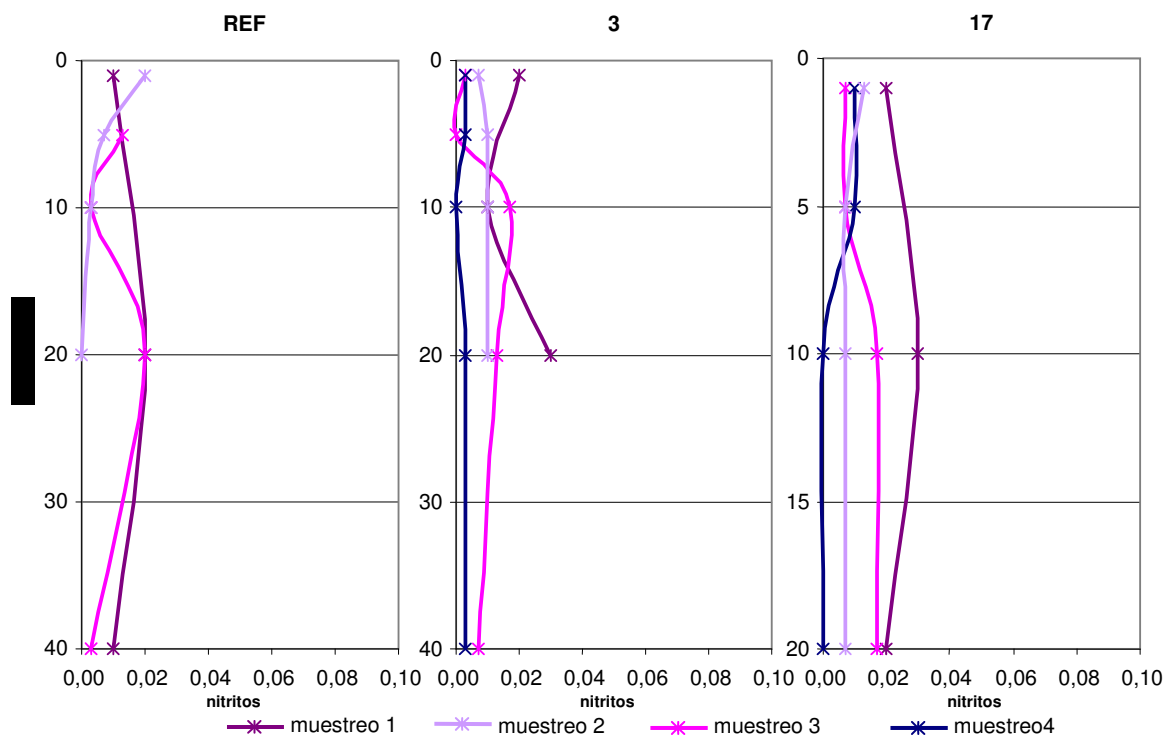
*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 190. Distribución de nitritos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo.

La mayoría de los valores se sitúan entre 0,01 y 0,02 mg/l y por lo tanto por encima de los valores de fondo para este parámetro (0,01 mg/l), pero dentro del rango denominado habitual para aguas marinas. Destaca el 1º muestreo en el punto 2, donde en superficie el valor es de 0,09 mg/l, muy superior a los valores de fondo, parece que existe un aporte en superficie (Figura 190).

En esta zona la tendencia de las concentraciones de nitritos en el 1º y 4º muestreo, tiene una relación inversa con las tendencias de la concentración de clorofila A (Figura 68), estos muestreo corresponden con los valores menores de clorofila A (Figura 72).

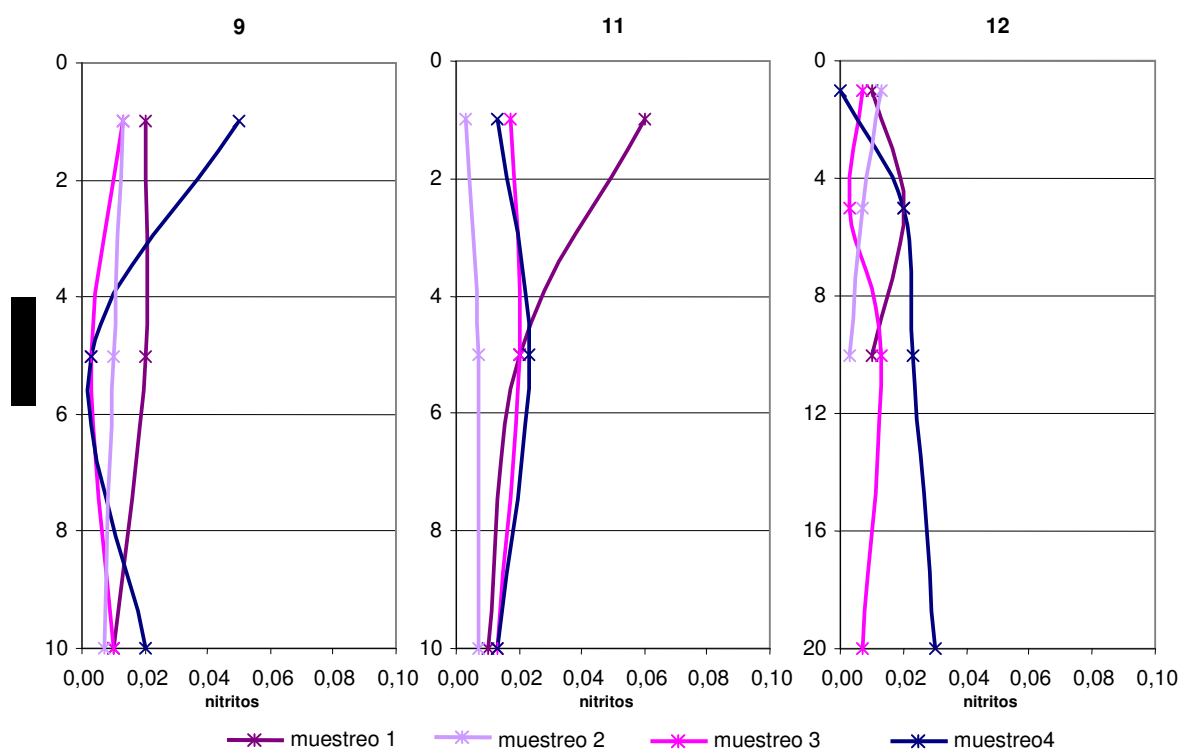
En la **zona exterior** (Masa 2) la mayoría de los valores se sitúan entre 0,01 y 0,02 mg/l y por lo tanto por encima de los valores de fondo para este parámetro (0,01 mg/l), pero dentro del rango denominado habitual para aguas marinas. El 1º muestreo es el de valores mayores y el 4º muestreo el de valores menores. En general la tendencia es a disminuir los valores desde 10-20 m de profundidad hacia el fondo (Figura 191).



*La escala vertical del punto 17 está duplicada

Figura 191. Distribución de nitritos (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo.

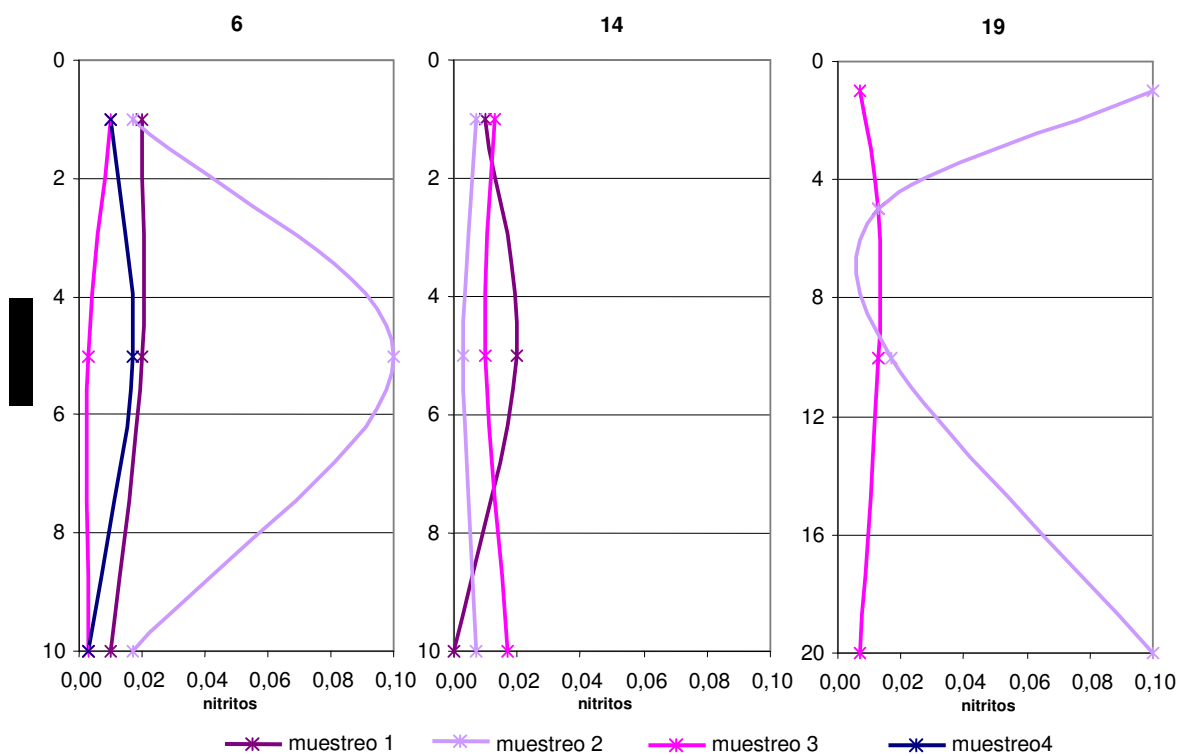
En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los valores son algo mayores que en la dársena de Cartagena y la tendencia a disminuir con la profundidad no es tan clara como en los otros casos (Figura 192).



*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

Figura 192. Distribución de nitritos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo.

En la **zona de transición** (Masa 4) las tendencias para el 2º y 3º muestreo son similares en el punto 14 y opuestas a las de los muestreos 1º y 4º (Figura 193). Destaca el 2º muestreo en el punto 6 a 5 m, y en el punto 19 en superficie y 20 m, con valores de 0,1 mg/l, los más elevados de esta zona.



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 193. Distribución de nitritos (mg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo

En la zona de transición la tendencia para la concentración de nitritos es similar a la de los valores de oxígeno disuelto para la misma zona (Figura 83).

En general las concentraciones de nitritos en el 1º y 4º muestreo, mínimos de clorofila A, tiene una relación inversa con las tendencias de la concentración de clorofila A (Figura 71), mientras que para el 2º y 3º muestreo, máximos de clorofila A, la relación es directa.

La distribución espacial de nitritos se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 194), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 80 a 83, Anexo III).

Los valores mayores se observan en el 1º muestreo en la dársena de Cartagena, mientras que los demás muestreos presentan valores bajos y homogéneos (Figura 194).

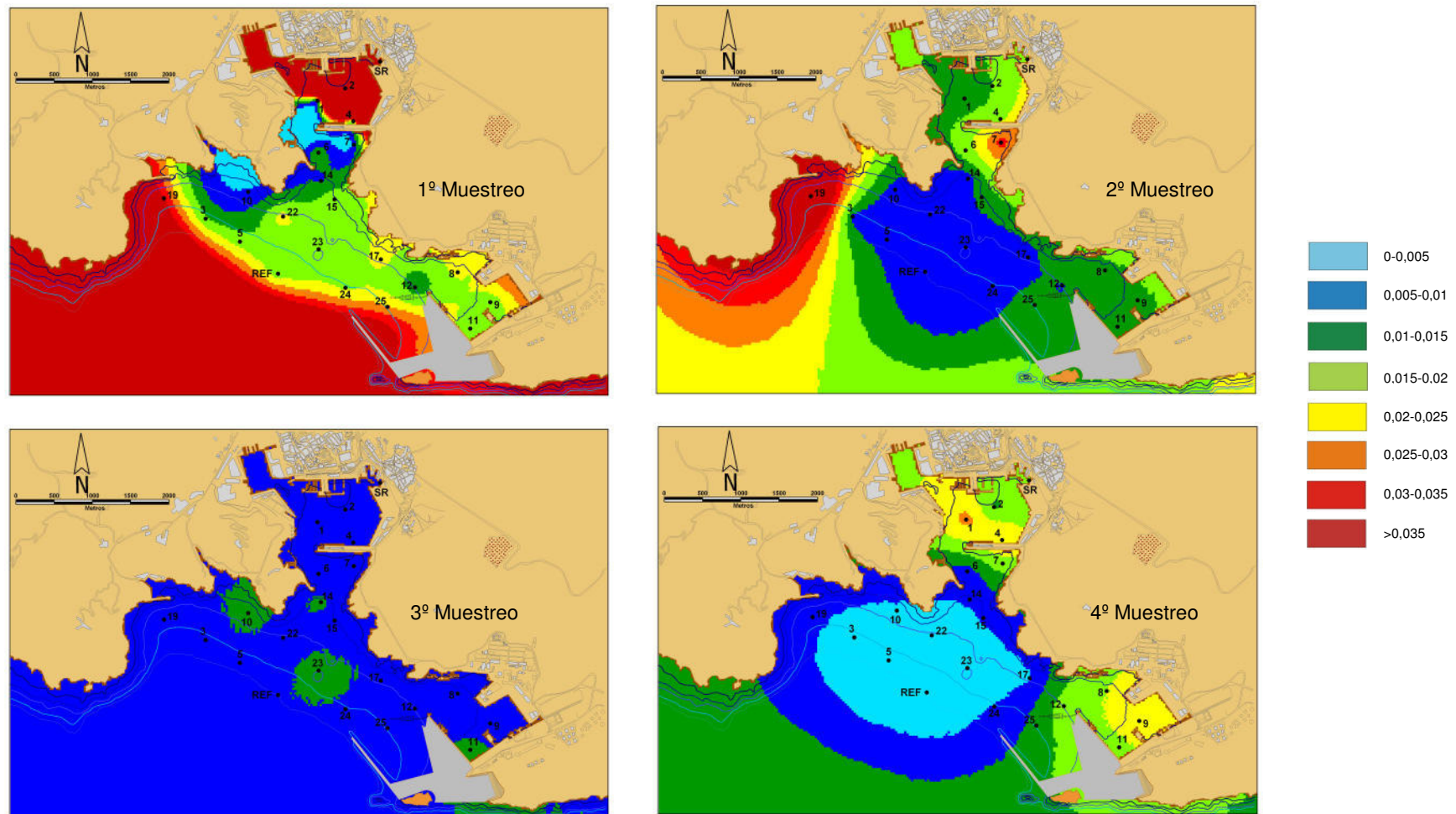


Figura 194. Distribución espacial de nitritos (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo

- Nitratos

El nitrato es la especie nitrogenada mayoritaria en el agua del mar con valores entre 0,06 y 30 mg/l (Millero, 2006). En aguas costeras es frecuente encontrar variaciones estacionales, en primavera existe una rápida eliminación de nitrógeno debido al crecimiento del fitoplacton. El fitoplacton es consumido por el zooplacton y los peces devuelven el nitrógeno a la columna de agua en forma de NH_4^+ y NO_3^- . En verano la formación de la termoclina impide la mezcla de las aguas en la vertical, pudiendo agotar los nutrientes en superficie (Millero, 2006).

La distribución de valores de nitratos se adapta a una curva normal, los valores más bajos corresponden a 0,40 mg/l y los valores máximos a 15 mg/l, la media es de 4,41 mg/l (Figura 195), valores dentro de la normalidad en aguas marinas.

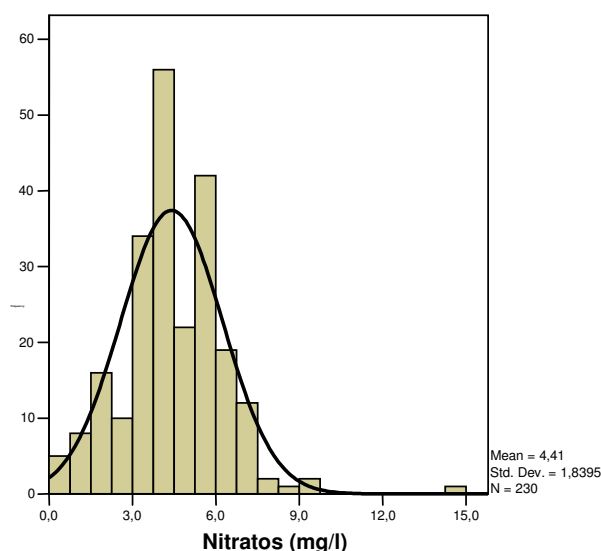


Figura 195. Distribución de frecuencias de nitratos (mg/l)

Sumando la desviación estándar (1,84 mg/l, Figura 195) al valor medio se obtiene un valor de 6,25 mg/l que correspondería al valor de fondo en el área de estudio.

Se han representado las variaciones de concentración de nitratos con la profundidad de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 36). Se representan únicamente las muestras con mayor número de datos por profundidades y número de muestreos (Figura 15) y por lo tanto más significativas (Figuras 196 a 199).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) se observa como aumentan las concentraciones de nitratos entre superficie y 5 m de profundidad, para luego regresar a valores similares a los iniciales al alcanzar los 10 m. La tendencia descrita se ve modificada en sentido contrario en el punto 1, 1º muestreo, en el punto 2 en el 4º muestreo y en el punto 4 en el 2º muestreo (Figura 196).

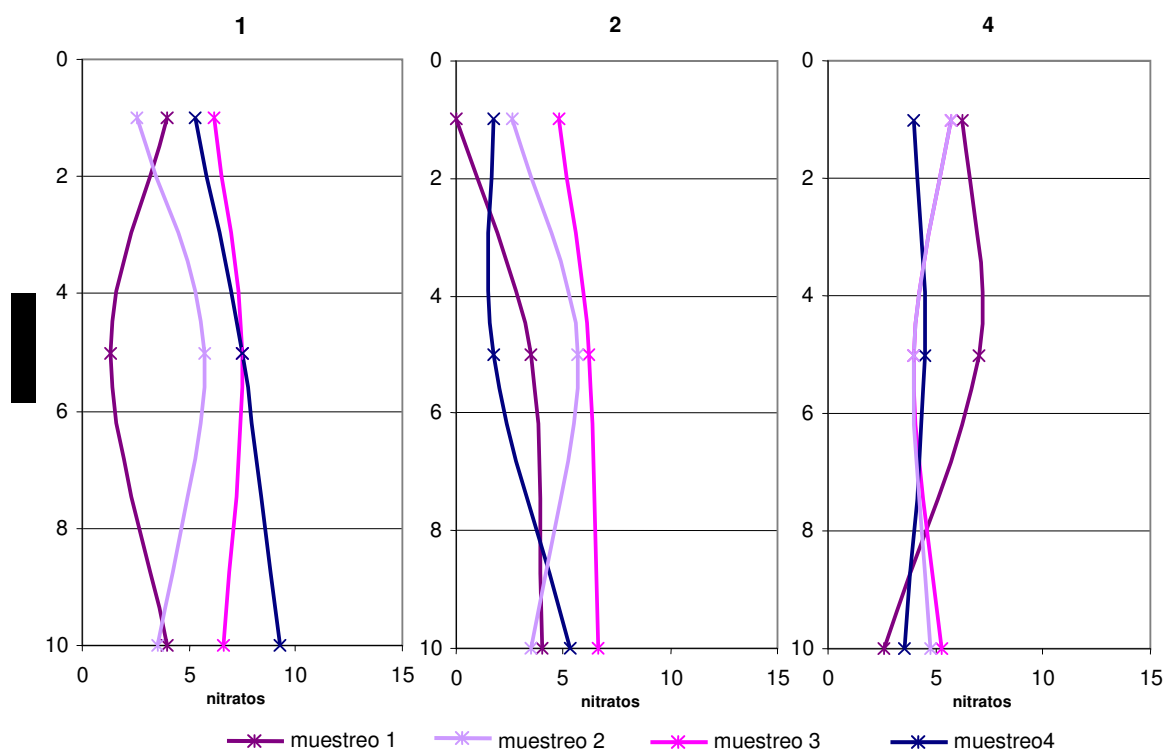
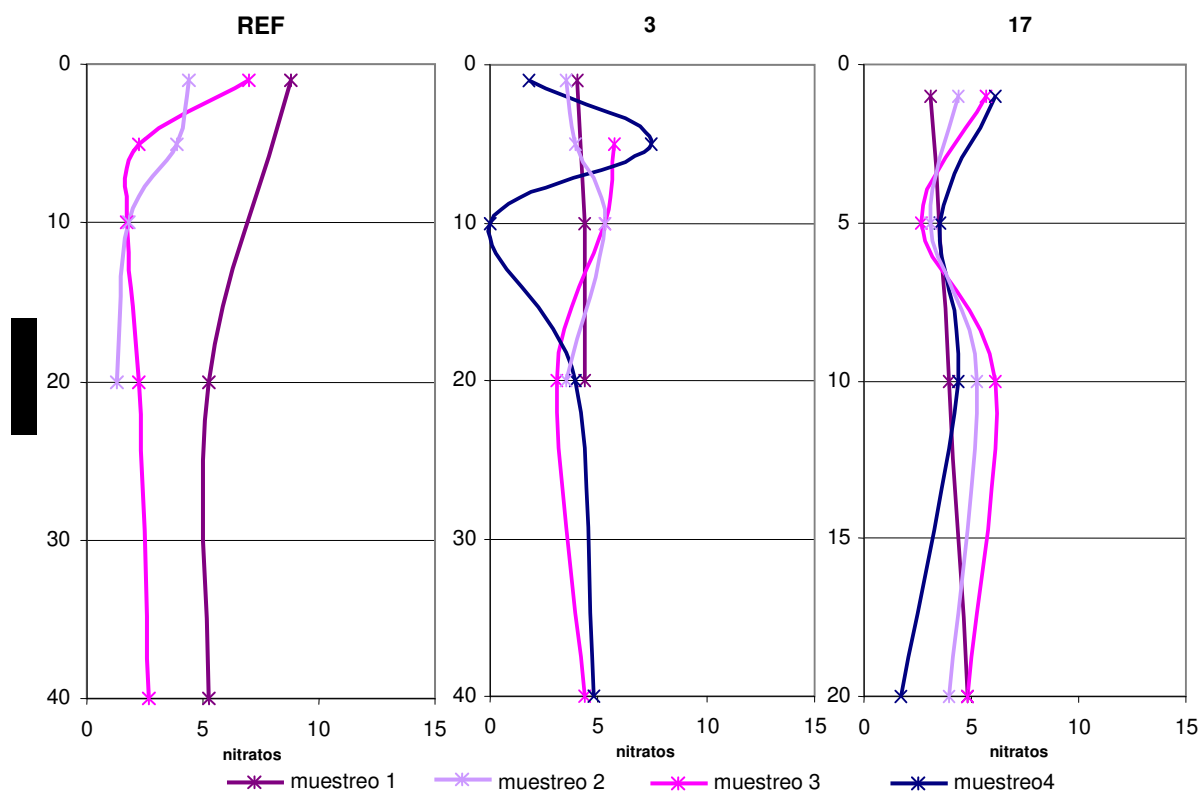


Figura 196. Distribución de nitratos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Cartagena para cada muestreo.

En esta zona se aprecia una similitud entre las tendencias de clorofila A y nitratos en el 2º muestreo, cuando los valores de clorofila A aumentan decrecen los de nitratos, correspondiéndose con el consumo de nitratos por el fitoplancton en el momento de máxima producción.

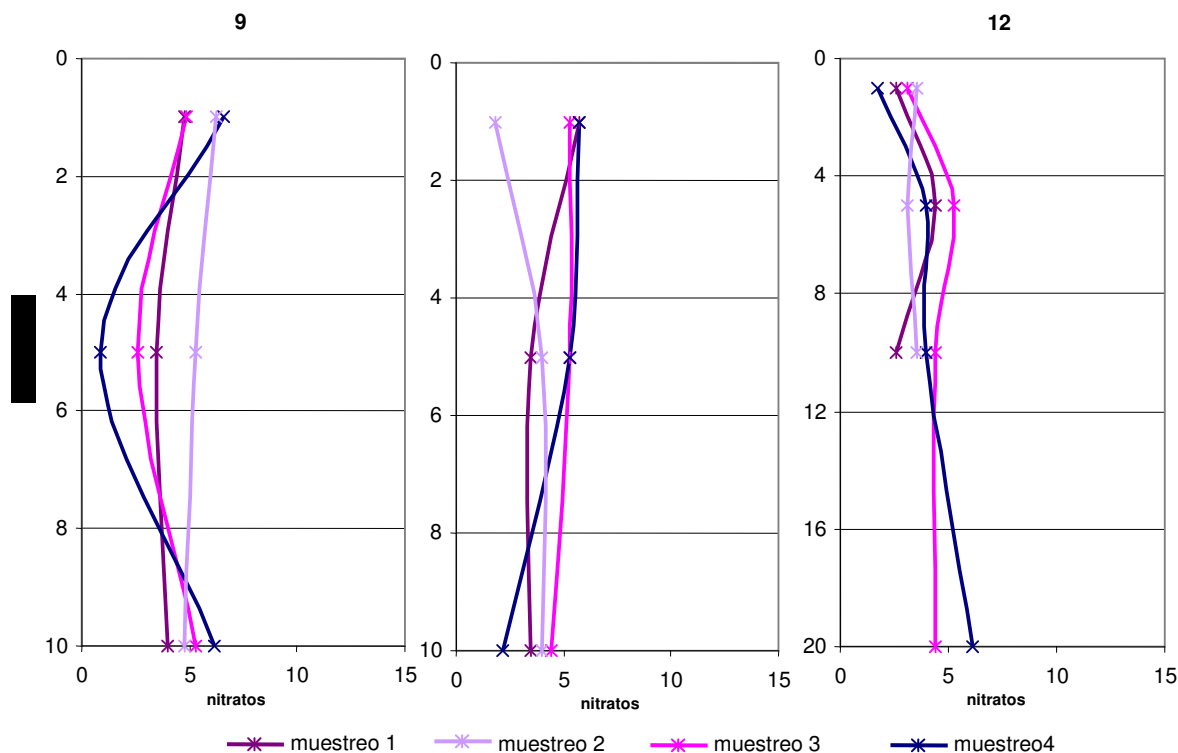
En la **zona exterior** (Masa 2) se aprecia como los valores de superficie y fondo son similares, existiendo una tendencia a disminuir entre superficie y 5–10 m de profundidad, esta tendencia no ocurre en el 1º muestreo, especialmente en el punto REF donde se observa un descenso hasta 10-20 m y después una tendencia a valores menores y constantes (Figura 197).



*La escala vertical del punto 17 está duplicada

Figura 197. Distribución de nitratos (mg/l) con la profundidad en la zona exterior para cada muestreo.

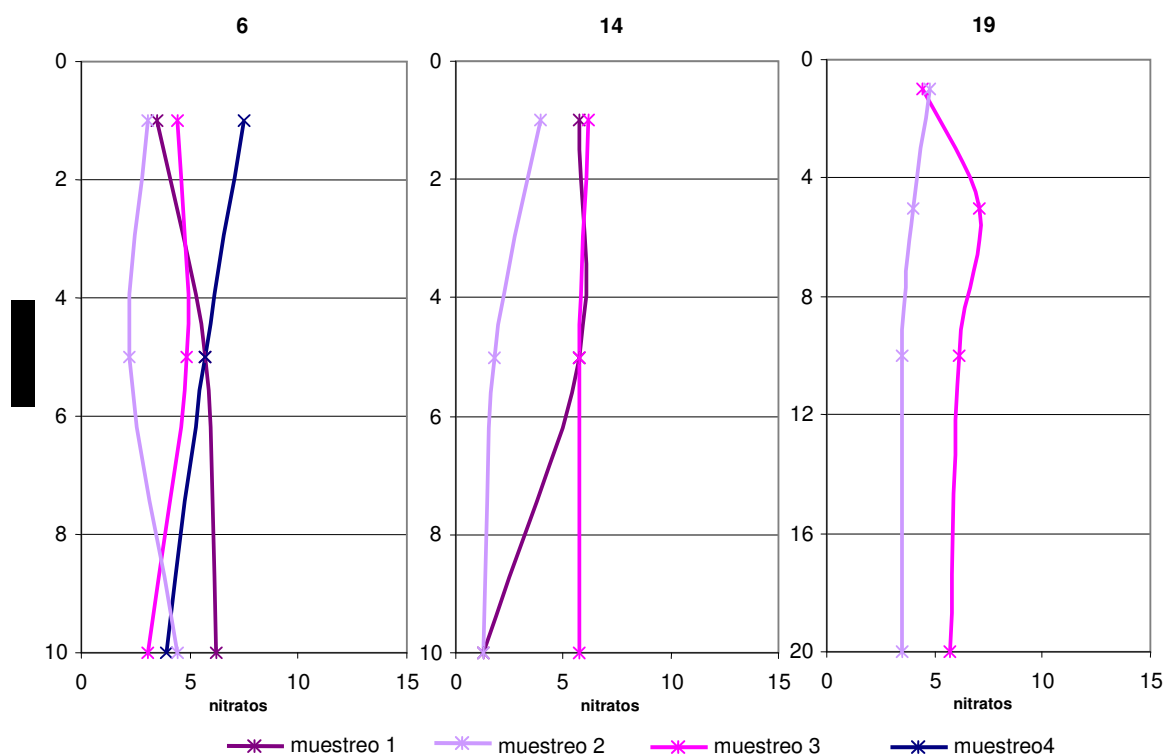
En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los valores de concentración de nitratos son muy similares para todos los puntos y muestreos. Al igual que en las otras zonas los valores de superficie tienden a igualarse con los de profundidad con una ligera variación a 5 m de profundidad (Figura 198).



*La escala vertical del punto 12 está reducida a la mitad

Figura 198. Distribución de nitratos (mg/l) con la profundidad en la dársena de Escombreras para cada muestreo.

En la **zona de transición** (Masa 4) las tendencias para el 2º y 3º muestreo son similares para cada punto, destaca el 2º muestreo que presenta los valores menores y una tendencia común entre puntos, disminuyendo de superficie a 5 m para aumentar levemente o mantenerse constante hasta alcanzar la profundidad máxima en cada punto (Figura 199), esta tendencia puede corresponder al consumo de nutrientes por parte del fitoplancton en este muestreo que es también el de mayores valores de clorofila A.



*La escala vertical del punto 19 está reducida a la mitad

Figura 199. Distribución de nitratos (mg/l) con la profundidad en la zona de transición para cada muestreo

En general todas las zonas presentan valores dentro del rango considerado normal en las aguas marinas (0,04-30 mg/l) y del valor de fondo calculado para el área de estudio (6,25 mg/l).

La distribución espacial de nitratos se ha representado tanto en función de las medias para cada muestreo (Figura 200), como por muestreo y profundidad para poder observar las correspondientes variaciones (Figuras 84 a 87, Anexo III).

La variabilidad de las concentraciones de nitratos es alta en todos los muestreos. Los valores mayores se observan en el 4º muestreo en la dársena de Cartagena, mientras que los valores menores corresponden al 2º muestreo en la zona de transición (Figura 200).

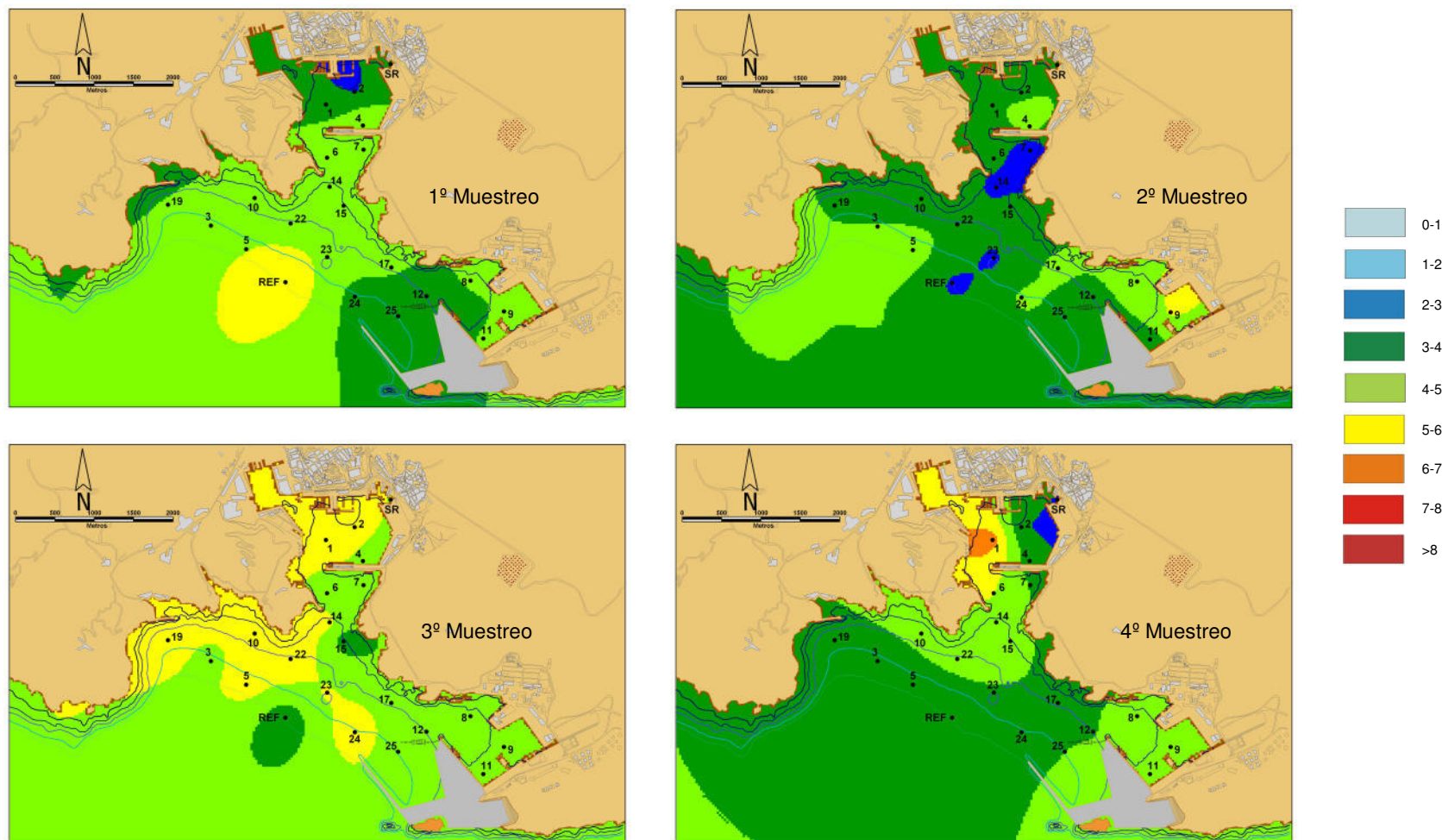


Figura 200. Distribución espacial de nitratos (mg/l) en base a los valores medios en cada punto de muestreo

8.4.1.5. Hidrocarburos

Los hidrocarburos no deberían estar presentes en las aguas marinas dado que su origen es siempre antropogénico, habitualmente pérdidas o vertidos desde instalaciones petroquímicas, operaciones de carga y descarga de combustible, aguas residuales, operaciones de mantenimiento de buques, etc. Aunque el fitoplacton tiene cierta capacidad de degradación de estos productos anualmente se estima la entrada en el sistema marino de entre 5 y 10 millones de toneladas de las cuales aproximadamente un tercio afecta a las zonas de estuario (Kennish, 2000).

Se determinaron Hidrocarburos Totales (HCT) en las muestras de superficie. La distribución de valores de HCT se adapta a una curva normal, los valores más bajos corresponden a 0,01 mg/l y los valores máximos a 0,60 mg/l, la media es de 0,13 mg/l (Figura 201).

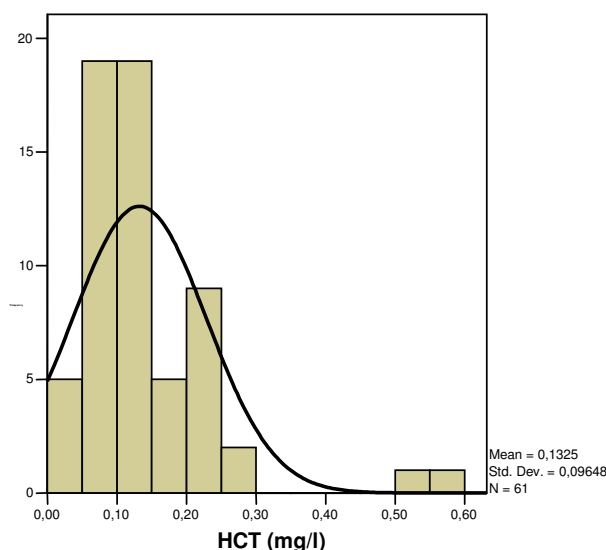


Figura 201. Distribución de frecuencias de HCT (mg/l)

Para analizar mejor la distribución de frecuencias de HCT se toma la desviación estándar para este parámetro (0,10 mg/l, Tabla 11) y se le suma al valor de la media (0,13 mg/l) obteniendo 0,23 mg/l, valor a partir del cual se consideran valores anómalos (Pérez, 2004) que se eliminan de la representación de frecuencias (Figura 202).

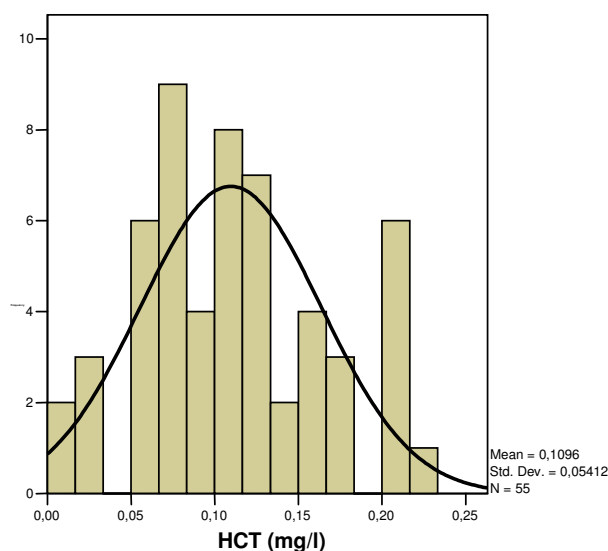


Figura 202. Distribución de frecuencias de HCT para muestras con valores inferiores a 0,23 mg/l

Se obtiene una distribución de frecuencias más próxima a una curva normal, donde la media se desplaza a 0,11 mg/l (Figura 202). Esta nueva media puede indicar los valores de fondo de la zona de estudio, sumándole la desviación estándar (0,05 mg/l, Figura 202) se obtiene un valor de 0,16 mg/l, valor por encima del cual se estaría fuera de los valores de fondo de la zona de estudio. Se establece un valor de fondo ya que por tratarse la zona de estudio de un puerto es evidente que los HCT estarán presentes y es necesario separar las concentraciones frecuentes en la zona (Figura 202) de los valores que pudieran indicar posibles fugas o vertidos.

Se han representado las variaciones de concentración de HCT de manera separada para cada masa de agua definida (Figura 203).

Los valores más altos de HCT aparecen en la dársena de Cartagena y corresponden al 2º y 3º muestreo (Figura 203), todos los puntos superan los valores de fondo (0,16 mg/l).

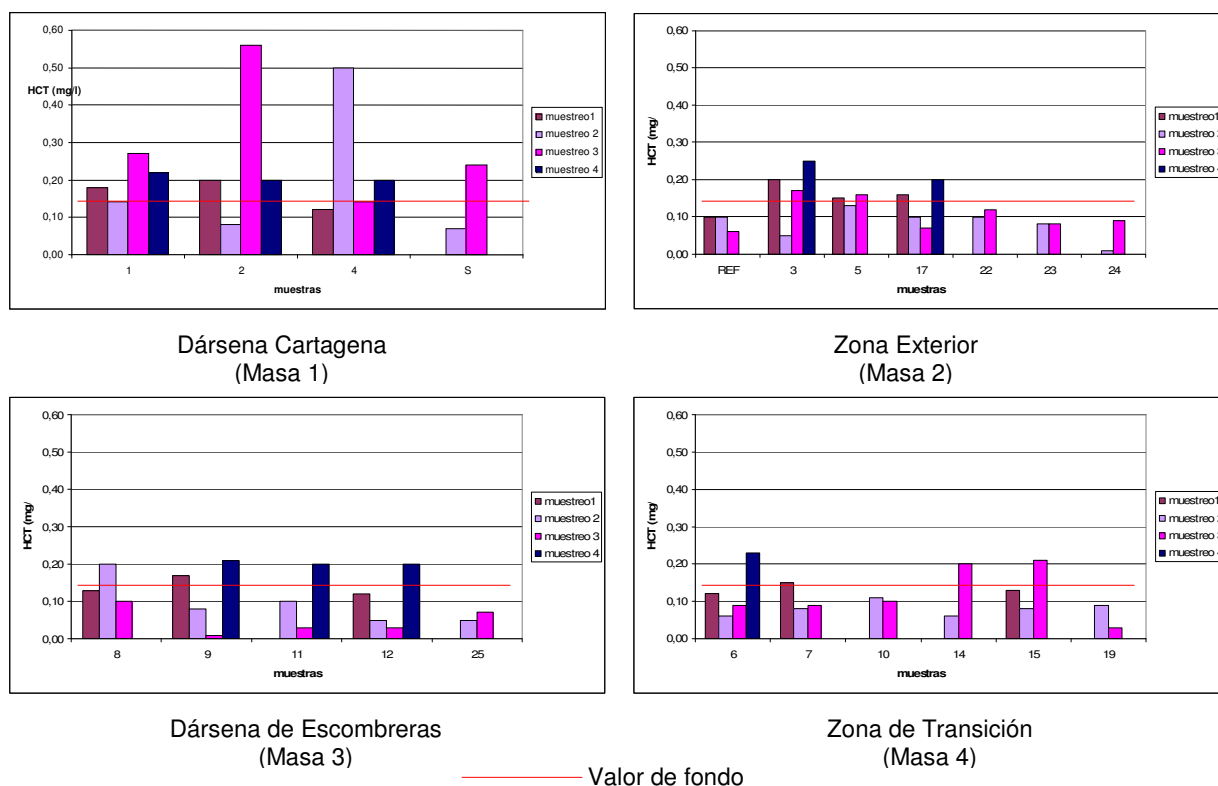


Figura 203. Distribución de HCT (mg/l) para cada muestrío.

En la zona exterior son los puntos 3, 5 y 17 los que superan los valores de fondo, el resto de puntos no llega a estos valores en ningún muestrío.

En la dársena de Escombreras se superan los valores de fondo en todos los puntos del interior de la dársena.

En la zona de transición los puntos de muestrío que superan los valores de fondo de HCT son aquellos próximos a la dársena de Cartagena (ver Figura 15).

En general en todas las zonas se superan los valores de fondo y sobre todo durante el 4º muestrío (Figura 203), siendo la dársena de Cartagena la que presenta una mayor afección derivada de la presencia de HCT.

La distribución espacial de HCT se representa en la Figura 204 donde se aprecia como la dársena de Cartagena presenta los valores más altos en el 2º y 3º muestrío.

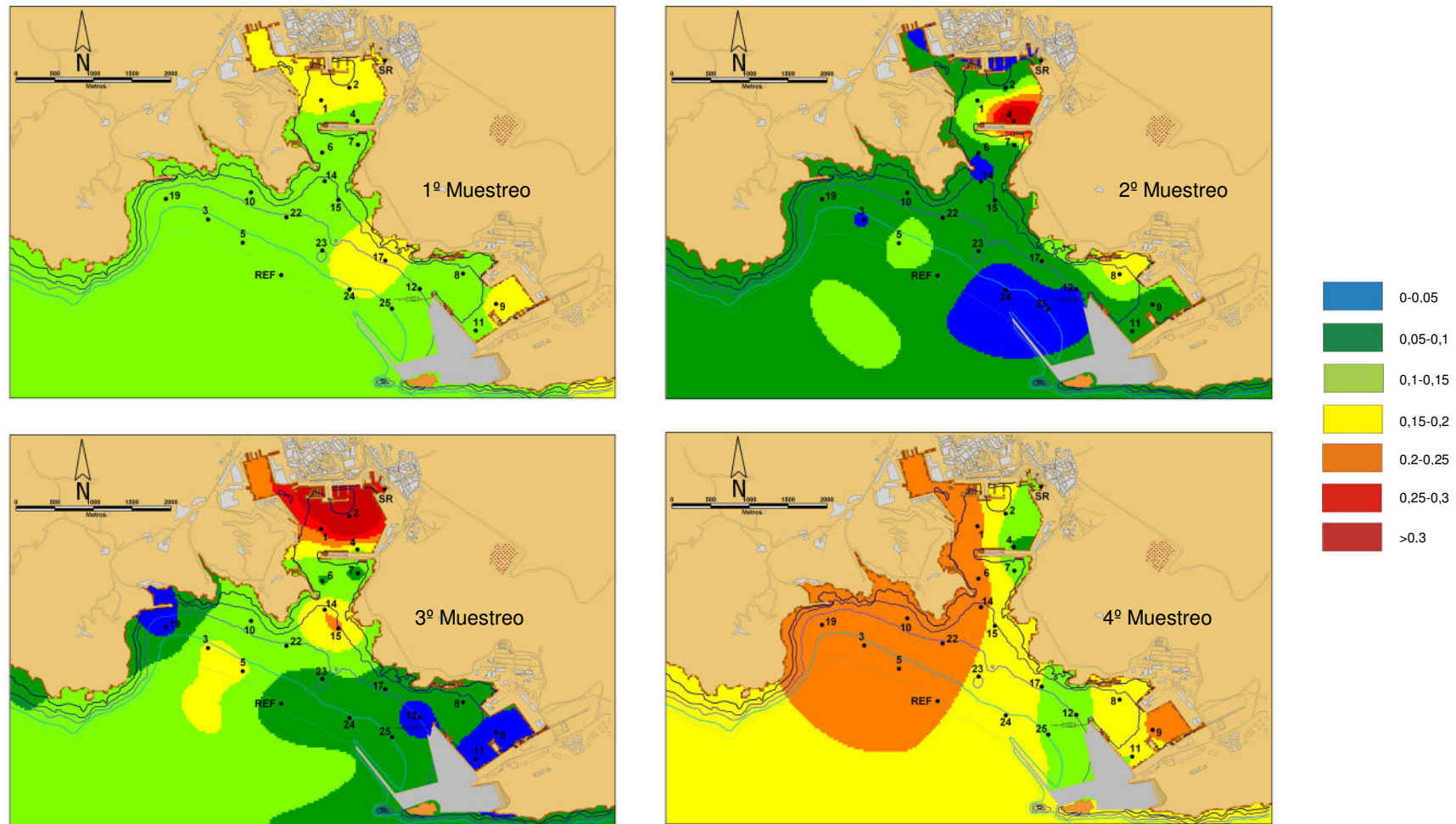


Figura 204. Distribución espacial de HCT (mg/l) para cada muestreo en superficie

8.4.2. Sedimentos

8.4.2.1. Metales Pesados

- Mercurio

Los valores de mercurio en sedimentos fueron determinados en el 1º muestreo y en algunas muestras como confirmación en el 2º (Tablas 17 y 18, Anexo II).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) se observa como los puntos 2 y 4 son los que presentan mayores concentraciones (Figura 205) esta es la zona con mayores valores de mercurio en sedimentos sobre todo en los puntos 2 y 4 (> 20 mg/kg).

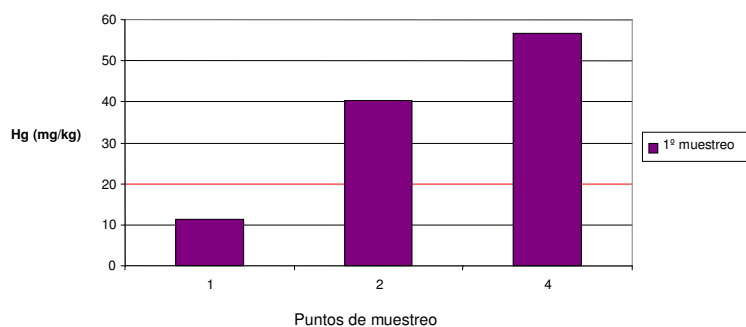


Figura 205. Concentración de mercurio (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena

En la **zona exterior** (Masa 2) los valores son siempre inferiores a 10 mg/kg, destacando como el punto con mayores concentraciones el 15, también se observa un aumento de las concentraciones en el 2º muestreo (Figura 206).

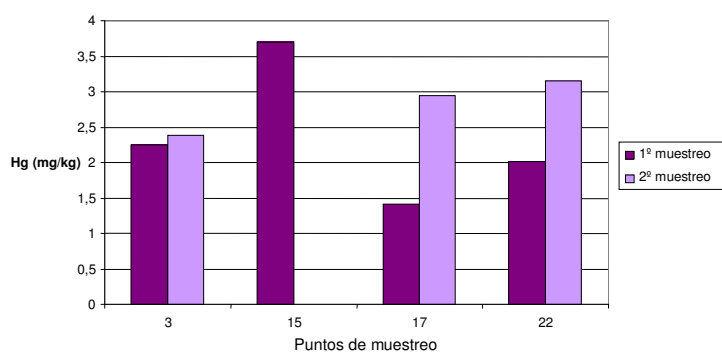


Figura 206. Concentración de mercurio (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) las concentraciones de mercurio son sensiblemente menores que en Cartagena y destacan los puntos 8 y 11 con concentraciones mayores de 10 mg/kg (Figura 207).

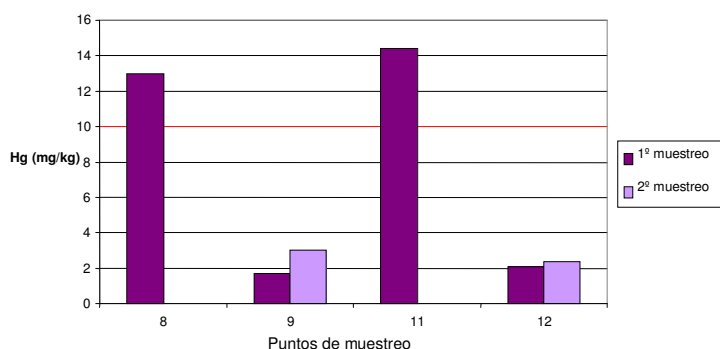


Figura 207. Concentración de mercurio (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras

En la **zona de transición** (Masa 4) los valores son similares a los de la dársena de Escombreras (Figura 208).

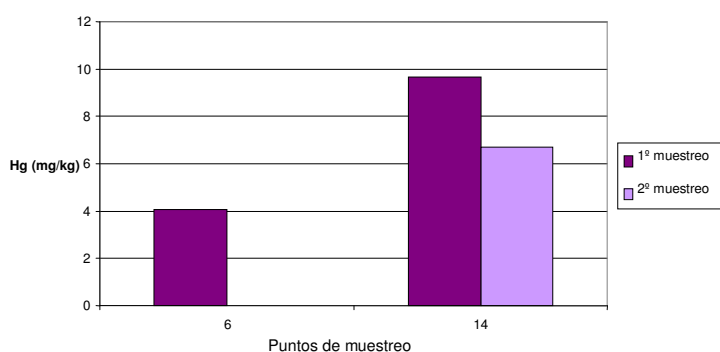


Figura 208. Concentración de mercurio (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición

La distribución de mercurio en los sedimentos presenta una clara distinción entre zonas, así la dársena de Cartagena tiene unos valores máximos próximos a 60 mg/kg y mínimos en torno a 5 mg/kg, mientras que la dársena de Escombreras presenta unos valores máximos de 14 mg/kg y mínimos de 2 mg/kg. En la zona exterior los valores máximos se sitúan en el entorno de 4 mg/kg, mientras que los mínimos están entre 1,5 y 2 mg/kg. La zona de transición muestra valores mínimos de 4 mg/kg, límite superior de la zona exterior, y máximos de 9 mg/kg, límite inferior de la dársena de Cartagena, así las zonas se ordenarían en función del aumento de la concentración de mercurio en los sedimentos como sigue:

Masa 2 (1,5-4 mg/kg) < Masa 4 (4-9 mg/kg) < Masa 3 (2-14 mg/kg) < Masa 1 (5-60 mg/kg)

Se puede considerar que los valores de fondo de la zona de estudio se sitúan entre 2 y 4 mg/kg de mercurio, característicos de la zona exterior, mientras que las otras zonas están afectadas por la actividad antrópica y presentan valores mayores e incluso picos muy superiores a 10 mg/kg en el caso de la dársena de Cartagena. En esta masa de agua se observa como los valores de las muestras de aguas a mayor profundidad (10 m) tienen una relación inversa respecto de los sedimentos, la aparición de elevadas concentraciones en agua a 10 m se corresponden con bajas concentraciones en el sedimento, mientras que bajas concentraciones en las aguas se corresponden con altas en el sedimento (Figuras 169 y 205) parece que existiese un área de deposición de este metal en las proximidades del punto 4 que se removiliza desde los sedimentos en el punto 1.

En la Masa 4, zona de transición, aparecen altas concentraciones en las muestras de aguas superficiales que descienden con la profundidad y son coincidentes con elevados valores en los sedimentos (Figuras 172 y 208), parece que el punto 6 fuese un área de precipitación de mercurio.

Los valores de mercurio habituales en zonas costeras y de estuario están por debajo de 0,5 mg/kg (Kennish, 2000). Valores tan elevados como los aquí descritos aparecen en zonas afectadas por vertidos de lodos industriales (9 mg/kg, mar Báltico) y fundición (8 mg/kg, Australia) (Kennish, 2000).

Valores como los de la dársena de Cartagena (> 50 mg/kg) aparecen descritos en zonas afectadas por vertidos derivados de refinerías e industrias de cloro-álcali (Kennish, 2000).

Teniendo en cuenta que se consideran sedimentos con alta contaminación aquellos con concentraciones de mercurio mayores de 1,3 mg/kg (Long y Morgan, 1991) todo el área de estudio está dentro de esta clasificación.

- Zinc

Los valores de zinc se determinaron en sedimentos para el 2º, 3º y 4º muestreo (Tablas 18, 19 y 20, Anexo II).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) los valores de zinc son muy elevados, llegando hasta valores de 4000 mg/kg, fundamentalmente en el punto 4 durante el 3º muestreo y en el punto 2 durante el 4º muestreo (Figura 209).

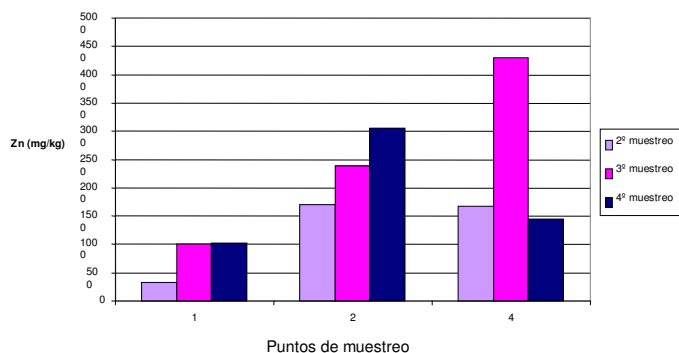


Figura 209. Concentración de zinc (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena

En la **zona exterior** (Masa 2) los valores son muy inferiores a las dársenas, destacando ligeramente el punto 17 y el 24 con concentraciones de zinc superiores a 500 mg/kg (Figura 210).

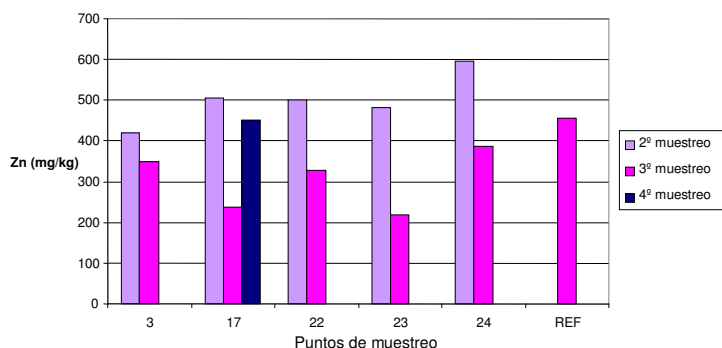


Figura 210. Concentración de zinc (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los valores son ligeramente menores que en la dársena de Cartagena, destacando el punto 8 (2000 – 3600 mg/kg) (Figura 211).

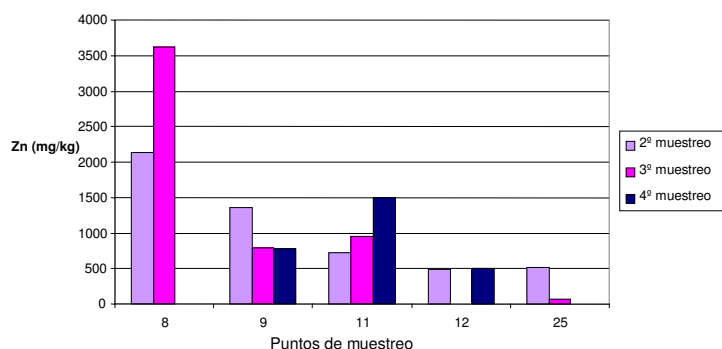


Figura 211. Concentración de zinc (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras

En la **zona de transición** (Masa 4) los valores se encuentran en un rango intermedio entre la zona exterior y las dársenas, destacando el punto 6, 2º muestreo, con valores próximos a 2000 mg/kg (Figura 212).

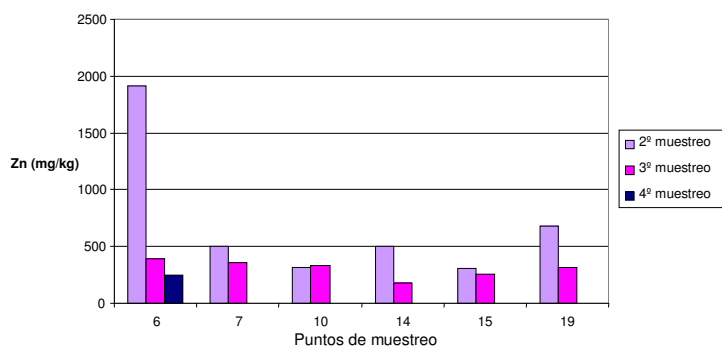


Figura 212. Concentración de zinc (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición

La distribución de zinc en los sedimentos presenta una clara distinción entre las masas de agua, de manera similar al mercurio, así la dársena de Cartagena tiene unos valores máximos próximos a 4500 mg/kg y los valores mínimos se aprecian en la zona exterior por debajo a 500 mg/kg. En general parece que los valores de fondo se sitúan en torno a 500 mg/kg y son las dársenas las zonas de acumulación de este metal superando los 2000 mg/l.

El orden de abundancia de zinc en los sedimentos para cada masa de agua sería:

Masa 2 (< 500 mg/kg) < Masa 4 (250-2000 mg/kg) < Masa 3 (500-3500 mg/kg) < Masa 1 (500-4250 mg/kg)

Este orden coincide con el descrito para las concentraciones de mercurio.

Los máximos de concentración de zinc en la dársena de Cartagena (Masa 1) coinciden con los máximos de este parámetro en aguas (Figuras 142 y 209).

En la Masa 2 aparece una tendencia anómala en el punto 17 donde los valores en profundidad son muy elevados en el 2º muestreo, este máximo coincide con elevados valores de zinc en los sedimentos de este punto durante el mismo muestreo, dado que el punto 17 está en las proximidades del vertido de agua de refrigeración de ENAGAS (Figura 10), vertido que cae de forma torrencial sobre el mar y podría generar la removilización de este metal desde los sedimentos.

Los valores de zinc habituales en zonas costeras y de estuario suelen ser menores de 500 mg/kg (Kennish, 2000), valores tan elevados como los aquí descritos aparecen en zonas afectadas por vertidos de lodos de depuradoras y residuos de minería (2000 mg/kg) (Kennish, 2000).

Se consideran sedimentos con alta contaminación aquellos con concentraciones de zinc mayores de 270 mg/kg (Long y Morgan, 1991) todo el área de estudio está en esta clasificación.

Es de destacar que en la zona este de la ciudad de Cartagena, muy próxima a la dársena de Cartagena, se han caracterizado suelos con concentraciones de zinc de hasta 42979 mg/kg (Acosta et al, 2005).

- Cobre

Los valores de cobre se determinaron en sedimentos para el 2º, 3º y 4º muestreo (Tablas 18 a 20, Anexo II).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) destacan las altas concentraciones de cobre (400 mg/kg) en los puntos 2 y 4 (Figura 213).

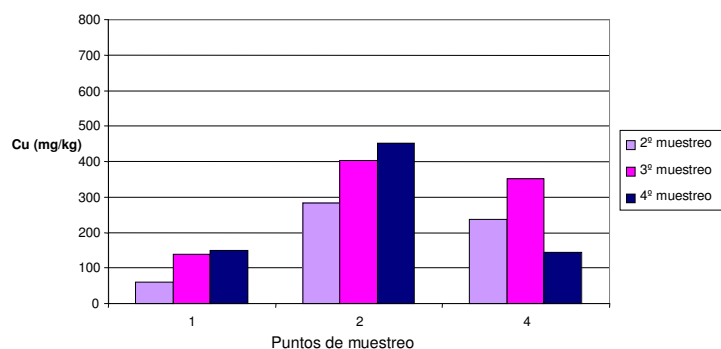


Figura 213. Concentración de cobre (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena

En la **zona exterior** (Masa 2) las concentraciones de cobre están por debajo de 200 mg/kg, incluso en el punto 17 que es el que presenta mayores concentraciones (Figura 214).

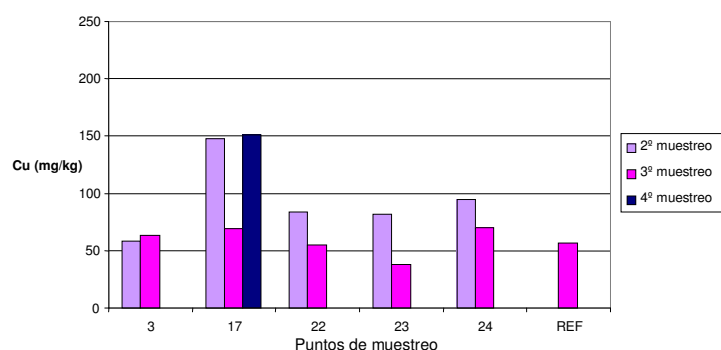


Figura 214. Concentración de cobre (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los valores son superiores a los de Cartagena, destacando el punto 8 (600-700 mg/kg) (Figura 215).

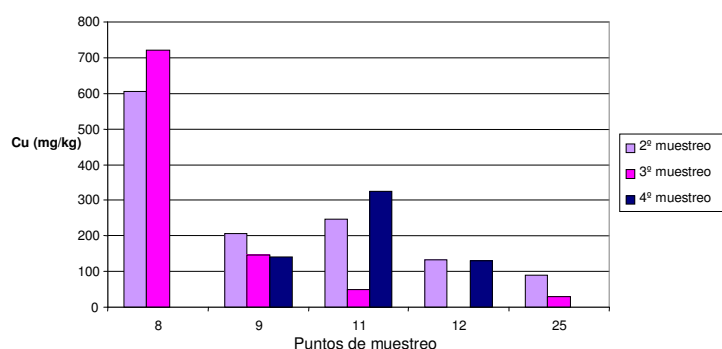


Figura 215. Concentración de cobre (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras

En la **zona de transición** (Masa 4) los valores de cobre en los sedimentos son similares a los de la zona exterior (< 100 mg/l), excepto en el punto 6, durante el 2º muestreo, momento en que los valores ascienden por encima de los 200 mg/kg (Figura 216).

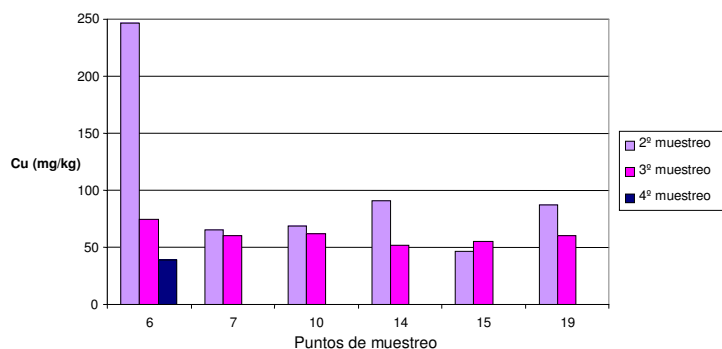


Figura 216. Concentración de cobre (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición

Las concentraciones de fondo para cobre en los sedimentos de la zona de estudio parecen estar en el exterior de las dársenas en 100 mg/kg, sin embargo estas concentraciones aumentan considerablemente en determinados puntos del interior de las dársenas y en la dársena de Escombreras son los más elevados (hasta 700 mg/kg).

La distribución de cobre en las masas de agua se ordena como sigue:

Masa 2 (50-150 mg/kg) < Masa 4 (50-250 mg/kg) < Masa 1 (100-450 mg/kg) < Masa 3 (100-700 mg/kg)

Esta distribución varía respecto a la de zinc y mercurio donde la mayor concentración se situaba en la Masa 1, dársena de Cartagena.

En la Masa 2 aparece una tendencia anómala en el punto 17, al igual que en el caso del zinc, donde los valores en profundidad son muy elevados en el 2º muestreo, este máximo coincide con elevados valores de cobre en los sedimentos de este punto durante el mismo muestreo, parece evidente que se están movilizandolos metales desde los sedimentos, además en este punto durante el 2º muestreo se alcanzan valores elevados de oxígeno disuelto de 20 a 10 m de profundidad (Figura 81).

Los valores de cobre habituales en zonas costeras y de estuario suelen ser menores de 250 mg/kg (Kennish, 2000). Valores entre 4000 y 2500 mg/kg aparecen en zonas afectadas por vertidos de lodos de depuradoras, refinerías y residuos de minería (Kennish, 2000).

Se consideran sedimentos moderadamente contaminados aquellos con concentraciones de cobre entre 70 y 390 mg/kg (Long y Morgan, 1991) clasificación en la que se encuentran las Masas 2 y 4 y sedimentos con alta contaminación aquellos con concentraciones de cobre mayores de 390 mg/kg (Long y Morgan, 1991) en esta clasificación entrarían las Masas 1 y 3.

Al igual que en el caso del zinc en la zona este de la ciudad de Cartagena, se han caracterizado suelos con concentraciones de cobre de hasta 844 mg/kg (Acosta et al, 2005).

- Níquel

Los valores de níquel se determinaron en sedimentos para el 2º, 3º y 4º muestreo (Tablas 18 a 20, Anexo II).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) destaca la elevada concentración del punto 1 en el 3º muestreo (20 mg/kg) (Figura 217).

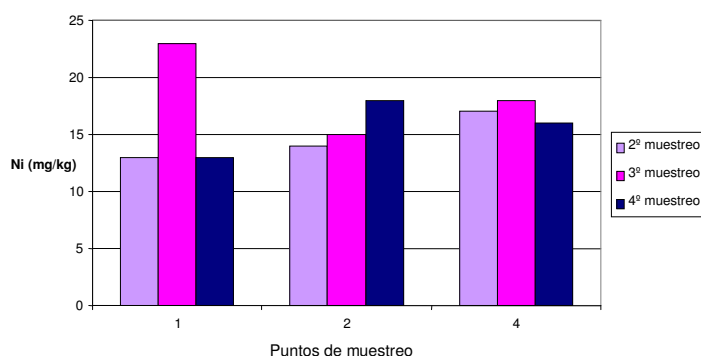


Figura 217. Concentración de níquel (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena

En la **zona exterior** (Masa 2) aparecen valores mayores de níquel de 20 mg/kg para el 2º muestreo (Figura 218).

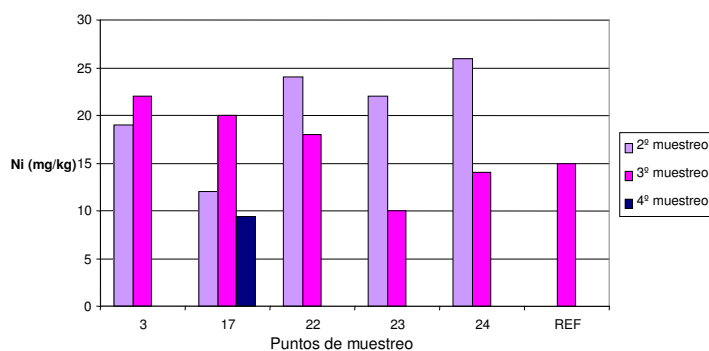


Figura 218. Concentración de níquel (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los valores son ligeramente inferiores a la dársena de Cartagena, destacando el punto 25 con valores mayores de 20 mg/kg (Figura 219).

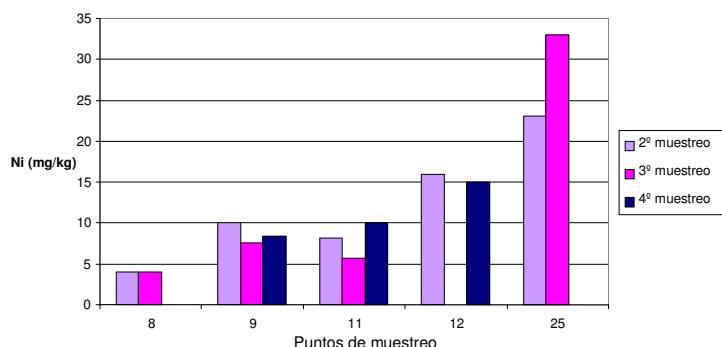


Figura 219. Concentración de níquel (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras

En la **zona de transición** (Masa 4) los valores de níquel son menores de 20 mg/kg (Figura 220).

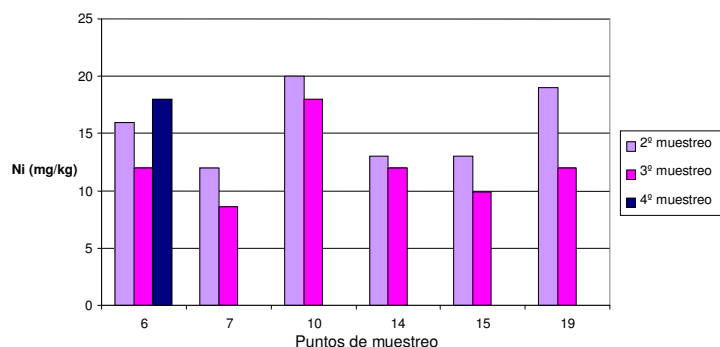


Figura 220. Concentración de níquel (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición

La distribución de níquel se comporta de manera contraria a los metales comentados hasta el momento, apareciendo mayores concentraciones en las zonas exteriores y las menores en la dársena de Escombreras, esto podría deberse a las operaciones de dragado y removilización de fondos que se están realizando en la zona.

Las concentraciones medias de níquel en sedimentos del Atlántico Norte suelen estar por debajo de 40 mg/kg, similar a las concentraciones encontradas en la zona de estudio (Kennish, 2000).

Se consideran sedimentos no contaminados aquellos con concentraciones de níquel por debajo de 0,15 mg/kg (Long y Morgan, 1991) luego toda la zona de estudio se considera contaminada.

- Bario

Los valores de bario se determinaron en sedimentos para el 2º, 3º y 4º muestreo (Tablas 18 a 20, Anexo II).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) la mayoría de los puntos registra concentraciones entre 100 y 150 mg/kg, destaca la elevada concentración del punto 4 en el 3º muestreo (250 mg/kg) (Figura 221).

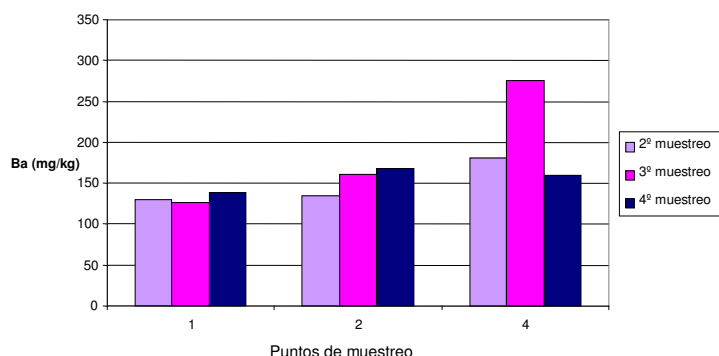


Figura 221. Concentración de bario (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena

En la **zona exterior** (Masa 2) los valores de bario son algo mayores que en las dársenas, oscilando entre 100 y 200 mg/kg. Destacan los puntos 3 y 22 con valores por encima de 250 mg/kg (Figura 222).

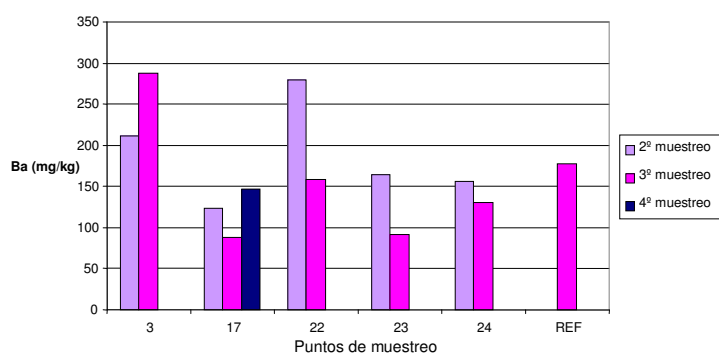


Figura 222. Concentración de bario (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los valores de bario son en general algo menores que en la dársena de Cartagena, oscilando entre 50 y 150 mg/kg; a excepción del punto 8 con valores por encima de 300 mg/kg en el 3º muestreo (Figura 223).

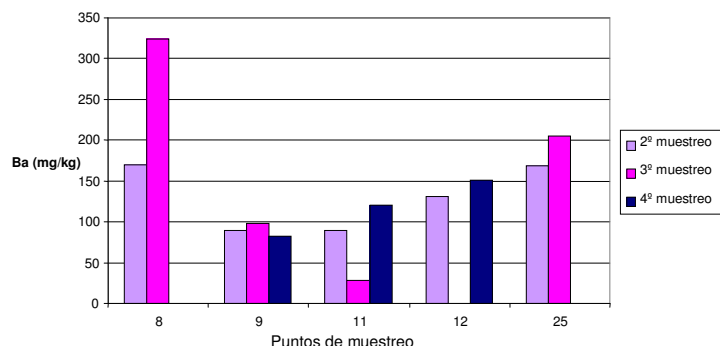


Figura 223. Concentración de bario (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras

En la **zona de transición** (Masa 4) los valores se sitúan entre 100 y 200 mg/kg al igual que la zona exterior excepto el punto 19 en el 2º muestreo que alcanza 250 mg/kg (Figura 224).

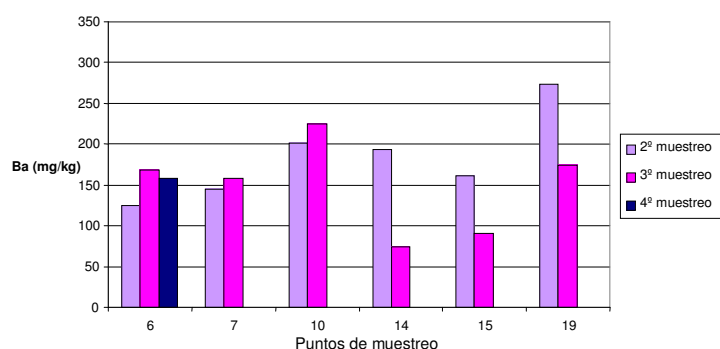


Figura 224. Concentración de bario (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición

Los valores más altos los alcanza la muestra 8 (300 mg/kg) en la dársena de Escombreras, pero de forma general son los puntos correspondientes a la zona exterior los que presentan una concentración mayor que las dársenas. Parece que el valor de fondo de la zona se encontraría en el entorno de los 100 mg/kg.

- Cromo

Los valores de cromo se determinaron en sedimentos para el 2º, 3º y 4º muestreo (Tablas 18 a 20, Anexo II).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) destaca la mayor concentración en el 4º muestreo que alcanza 75 mg/kg (Figura 225).

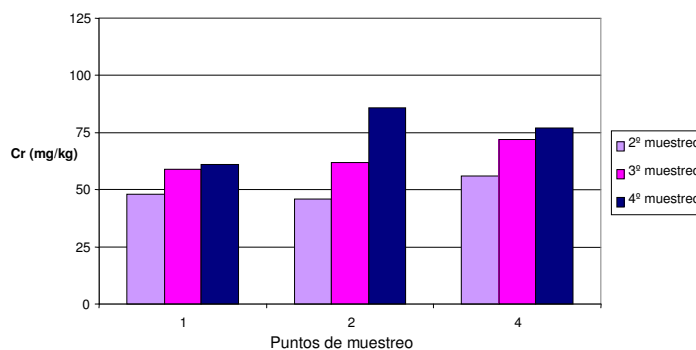


Figura 225. Concentración de cromo (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena

En general los valores de la **zona exterior** (Masa 2) se asemejan a los de la dársena de Escombreras, aunque en este caso destacan los puntos 22, 23 y 24 con concentraciones de cromo superiores a 100 mg/kg (Figura 226).

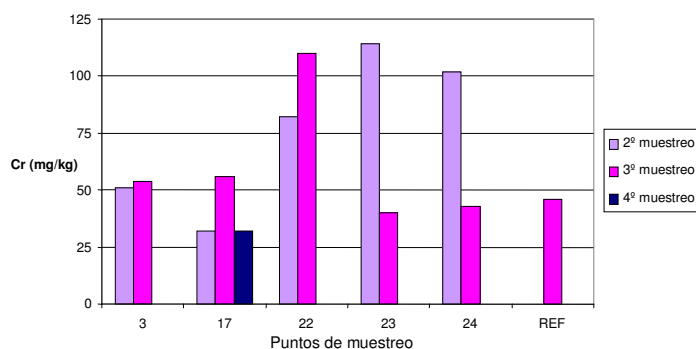


Figura 226. Concentración de cromo (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) los valores son menores de 40 mg/kg, inferiores a los de Cartagena. No se supera en ningún caso la concentración de 50 mg/kg de cromo (Figura 227).

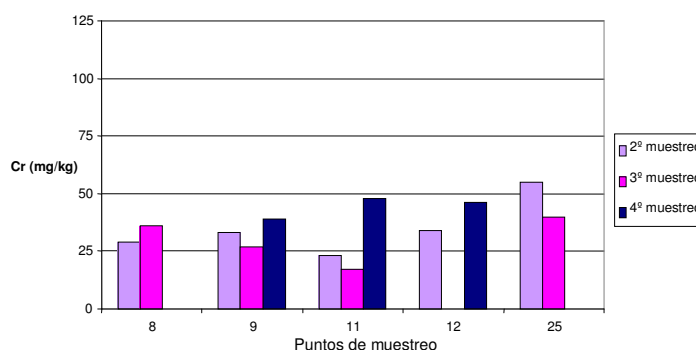


Figura 227. Concentración de cromo (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras

En la **zona de transición** (Masa 4) los valores son menores de 50 mg/kg. Únicamente en el punto 6, 4º muestreo, se superan valores de 100 mg/kg (Figura 228).

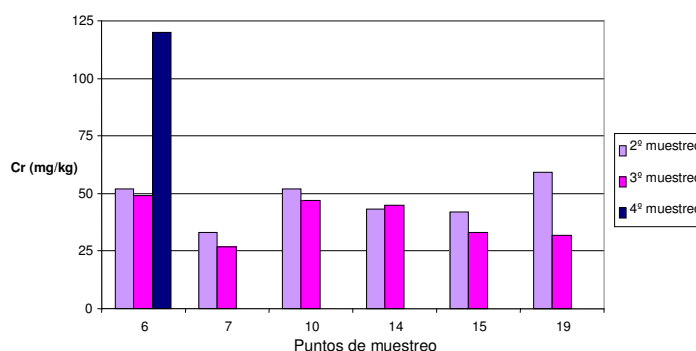


Figura 228. Concentración de cromo (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición

Parece que el valor de fondo para el cromo se sitúa entre 25 y 50 mg/kg, la zona exterior (puntos 22, 23 y 24) es la que presenta valores mayores.

Los valores habituales en zonas costeras y estuarios oscilan entre 20 y 250 mg/kg (Kennish, 2000) encontrándose en zonas portuarias valores de hasta 2300 mg/kg (Kennish, 2000).

Se consideran sedimentos no contaminados aquellos con concentraciones de cromo menores de 80 mg/kg (Long y Morgan, 1991) clasificación en la que estarían las Masas 1, 3 y 4. Se consideran sedimentos moderadamente contaminados aquellos con concentraciones de cromo entre 80 y 235 mg/kg (Long y Morgan, 1991) clasificación en la que se encuentra la Masa 2 debido a las altas concentraciones que muestra en los puntos próximos a la dársena de Escombreras (puntos 17, 22 y 24).

- Cobalto

Los valores de cobalto se determinaron en sedimentos para el 2º, 3º y 4º muestreo (Tablas 18 a 20, Anexo II).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) destaca la elevada concentración del punto 4 en el 2º muestreo, la mayoría de los valores se encuentran en torno a 10 mg/kg (Figura 229).

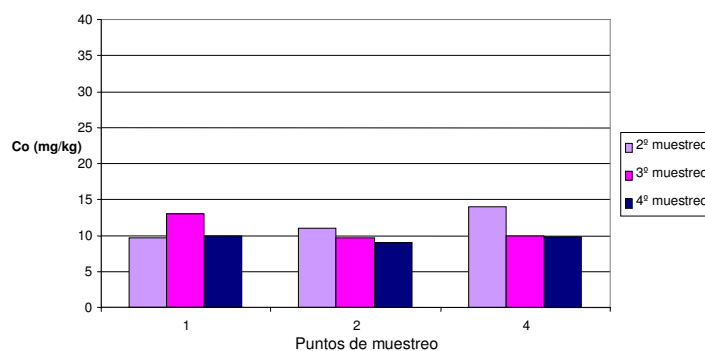


Figura 229. Concentración de cobalto (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena

En la **zona exterior** (Masa 2) los valores oscilan entre 10 y 20 mg/kg, en general, con los mayores valores siempre coincidentes con el 2º muestreo a excepción del punto 17 durante el 4º muestreo (30 mg/kg) (Figura 230).

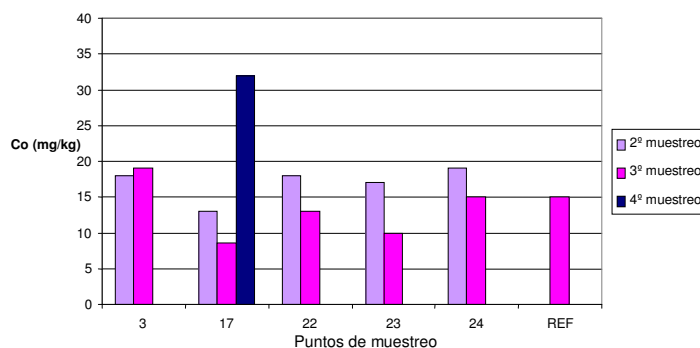


Figura 230. Concentración de cobalto (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) la mayoría de los valores están en torno a 10-15 mg/kg; excepto los puntos 8 y 25 que presentan valores por encima de 20 y 30 mg/kg respectivamente (Figura 231).

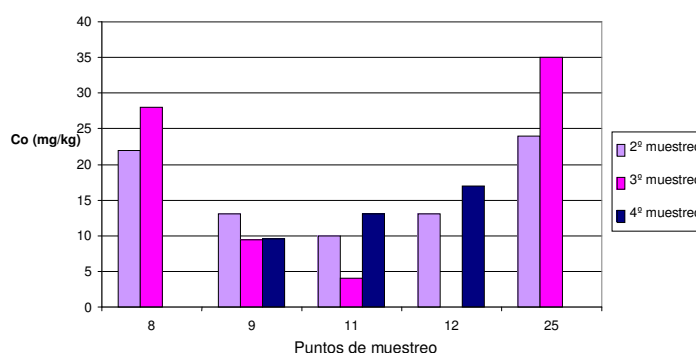


Figura 231. Concentración de cobalto (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras

En la **zona de transición** (Masa 4) la mayoría de los valores son menores de 15 mg/kg, excepto el punto 19 que presentan valores próximos a 20 mg/kg (Figura 232).

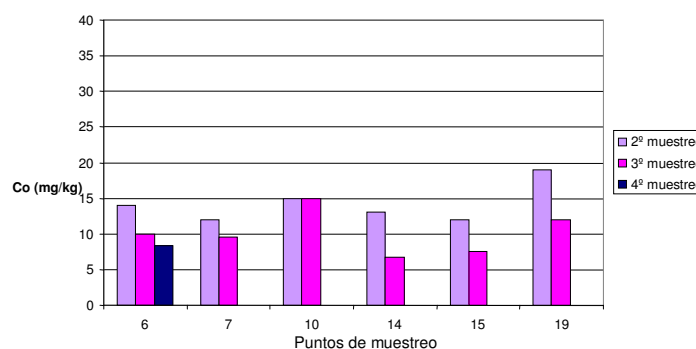


Figura 232. Concentración de cobalto (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición

En el caso del cobalto es la zona exterior la que presenta valores mayores que las dársenas, aunque los valores mayores aparecen en la dársena de Escombreras (puntos 8 y 25), ambos en el 3º muestreo. Se puede estimar como valor de fondo entre 10 y 15 mg/kg. En estuarios de la costa inglesa han sido descritos valores de cobalto entre 6 y 26 mg/l (Kennish, 2000).

- Litio

Los valores de litio se determinaron en sedimentos para el 2º, 3º y 4º muestreo (Tablas 18 a 20, Anexo II).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) destaca la elevada concentración del punto 2 en el 3º muestreo (35 mg/kg), la mayoría de los valores se encuentran en torno a 15-20 mg/kg (Figura 233).

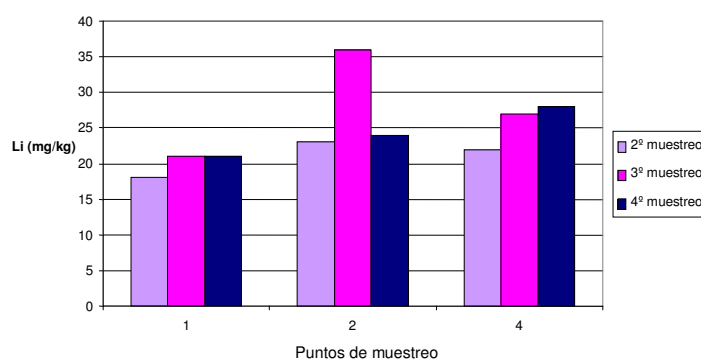


Figura 233. Concentración de litio (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena

En la **zona exterior** (Masa 2) los valores oscilan entre 20 y 25 mg/kg, en general, destacan los puntos 3 y 22 con valores mayores (30-35 mg/kg) (Figura 234).

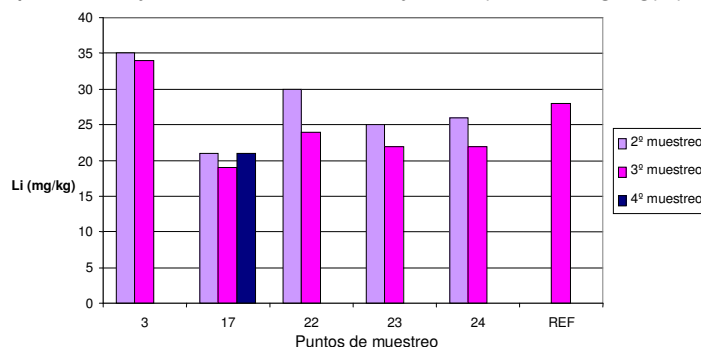


Figura 234. Concentración de litio (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) la mayoría de los valores están en torno a 15-20 mg/kg (Figura 235).

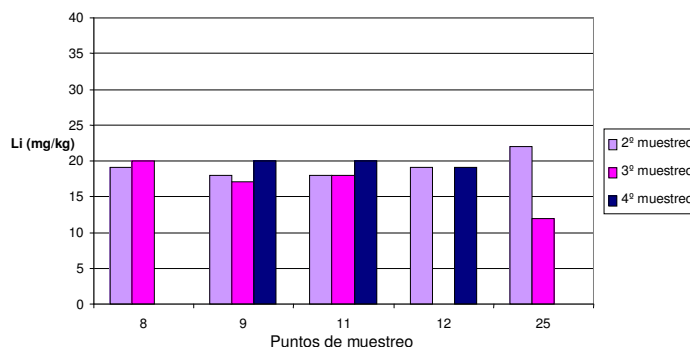


Figura 235. Concentración de litio (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras

En la **zona de transición** (Masa 4) la mayoría de los valores están en torno a 20 mg/kg, siendo los puntos 10 y 19 los que muestran concentraciones de litio mayores de 25 mg/l (Figura 236).

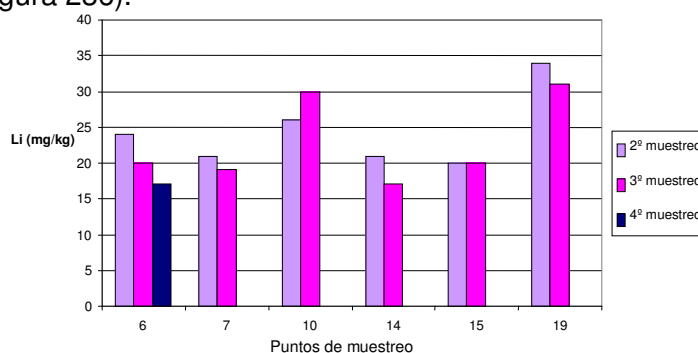


Figura 236. Concentración de litio (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición

En el caso del litio es la zona exterior la que presenta valores mayores que las dársenas. Los valores mayores aparecen en la zona exterior y la dársena de Cartagena. Se puede estimar como valor de fondo entre 15 y 20 mg/kg.

- Circonio

Los valores de circonio se determinaron en sedimentos para el 2º, 3º y 4º muestreo (Tablas 18 a 20, Anexo II).

En la **dársena de Cartagena** (Masa 1) destaca la mayor concentración de los puntos 2 y 4 en el 3º y 4º muestreo, la mayoría de los valores se encuentran en torno a 20-30 mg/kg (Figura 237).

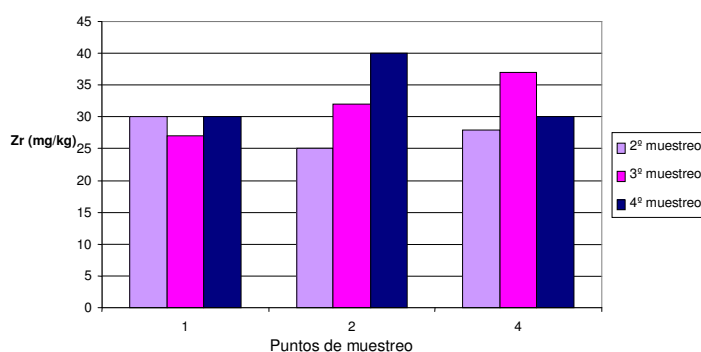


Figura 237. Concentración de circonio (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Cartagena

En la **zona exterior** (Masa 2) los valores oscilan entre 20 y 30 mg/kg, en general, destacan los puntos 3, 22 y 24 con valores mayores (Figura 238).

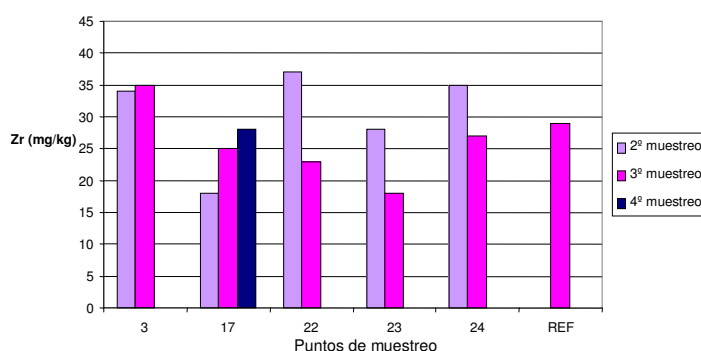


Figura 238. Concentración de circonio (mg/kg) en los sedimentos de la zona exterior

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) la mayoría de los valores están en torno a 20 mg/kg destacando los puntos 8 y 12 con valores mayores a 30 mg/kg (Figura 239).

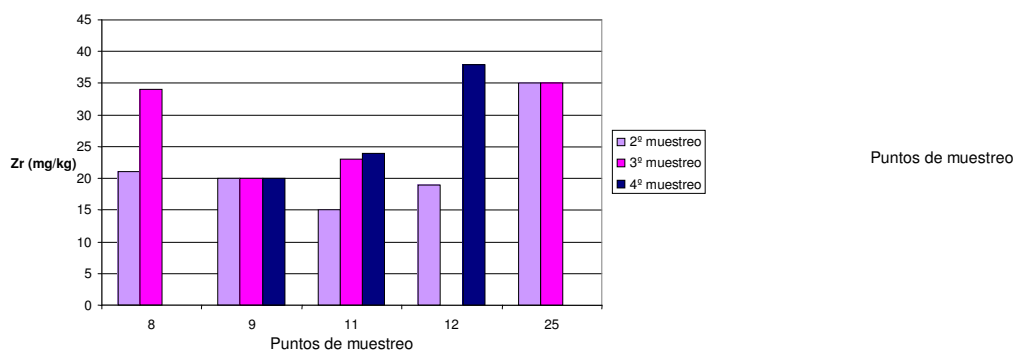


Figura 239. Concentración de circonio (mg/kg) en los sedimentos de la dársena de Escombreras

En la **zona de transición** (Masa 4) la mayoría de los valores están en torno a 15-20 mg/kg destacando los puntos 10 y 19 con valores mayores de 25 mg/kg (Figura 240).

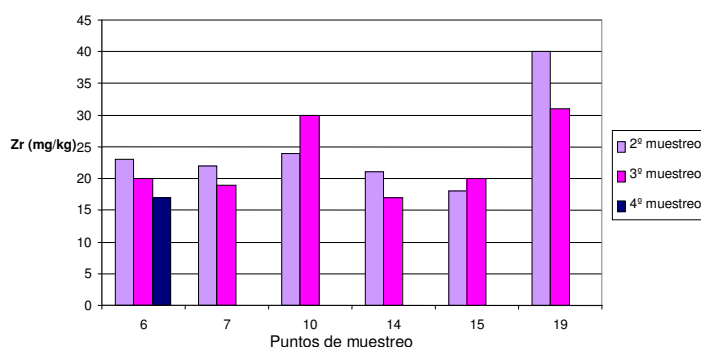


Figura 240. Concentración de circonio (mg/kg) en los sedimentos de la zona de transición

En el caso del circonio todas las zonas presentan valores similares, los valores máximos (40 mg/kg) aparecen en la zona exterior y la dársena de Cartagena. Se puede estimar como valor de fondo 20 mg/kg.

Teniendo en cuenta que el circonio suele aparecer en relación con minerales de alta resistencia, las áreas con mayores concentraciones de este elemento podrían estar relacionadas con zonas de depósito de sedimentos con elevado grado de alteración y transporte, ese es el caso de la Masa 1 que por otra parte es el área de descarga de numerosas ramblas que pudieran transportar este sedimento.

La totalidad del área de estudio puede considerarse como con sedimentos altamente contaminados en mercurio, zinc, níquel y cromo. La Masa 1 (dársena de Cartagena) es la más afectada ya que tiene las concentraciones más elevadas de mercurio, cromo, y níquel, además de cobre.

La Masa 3 (dársena de Escombreras) muestra también valores elevados de zinc y cobre, así como de cobalto.

Estas dos masas de agua son las que parecen presentar peores características en sus sedimentos respecto a metales pesados.

8.4.2.2. Relación carbono-nitrógeno (C/N)

Los valores de C/N se determinaron en sedimentos para el 2º, 3º y 4º muestreo (Tablas 18 a 20, Anexo II).

En la **dársena de Cartagena** la mayoría de los valores se encuentran en torno a 40-60 destacando la mayor concentración del punto 1, en todos los muestreos, que supera el valor de 60 (Figura 241).

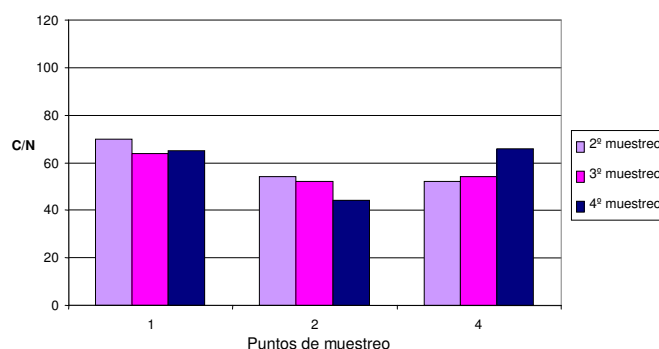


Figura 241. Relación C/N en los sedimentos de la dársena de Cartagena

En la **zona exterior** (Masa 2) los valores oscilan entre 40 y 60, en general, destacan los puntos 17 y 23 con valores mayores (80-100) (Figura 242).

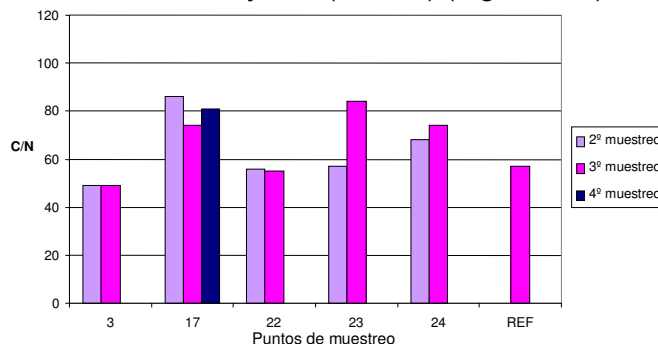


Figura 242. Relación C/N en los sedimentos de la zona exterior

En la **dársena de Escombreras** (Masa 3) la mayoría de los valores están en torno a 60-80 destacando el punto 11 con valores mayores a 100 en el 3º muestreo (Figura 243).

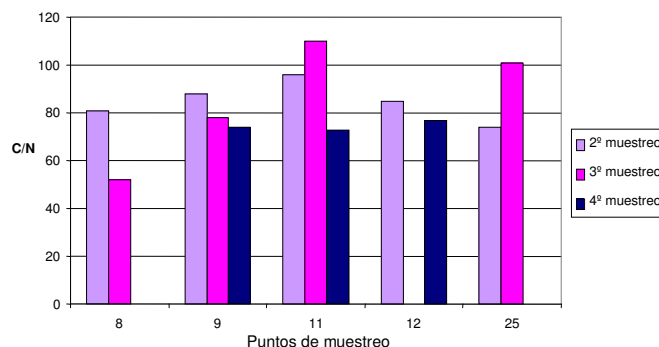


Figura 243. Relación C/N en los sedimentos de la dársena de Escombreras

En la **zona de transición** (Masa 4) la mayoría de los valores están entre 40 y 60 destacando los puntos 14 y 15 con valores mayores de 80 en el 3º muestreo (Figura 244).

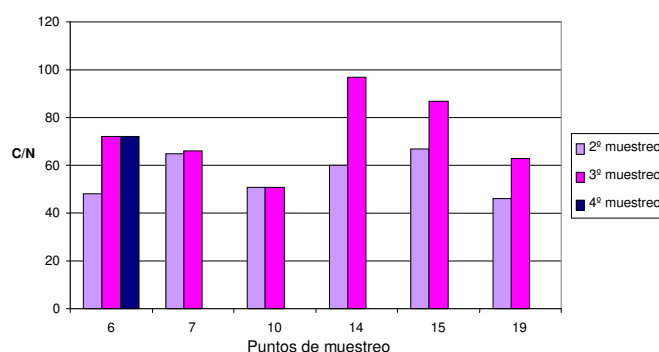


Figura 244. Relación C/N en los sedimentos de la zona de transición

La relación C/N presenta valores mayores en la dársena de Escombreras, esto puede indicar que el aporte de estos elementos al sedimento no es debido principalmente a materia orgánica, si no a compuestos constituidos por carbono y no por nitrógeno (hidrocarburos). Se puede estimar como valor de fondo para la relación C/N en los sedimentos de la zona de estudio 40-60.

Los valores máximos de C/N en sedimentos durante el 2º y 3º muestreo no son coincidentes con los valores máximos de HCT en aguas que aparecen en la dársena de Cartagena (Figura 204).

8.4.2.3. PAH's

La determinación de PAH's en sedimentos se realizó con una periodicidad semestral (1º y 3º muestreo, Tablas 21 y 22, Anexo II).

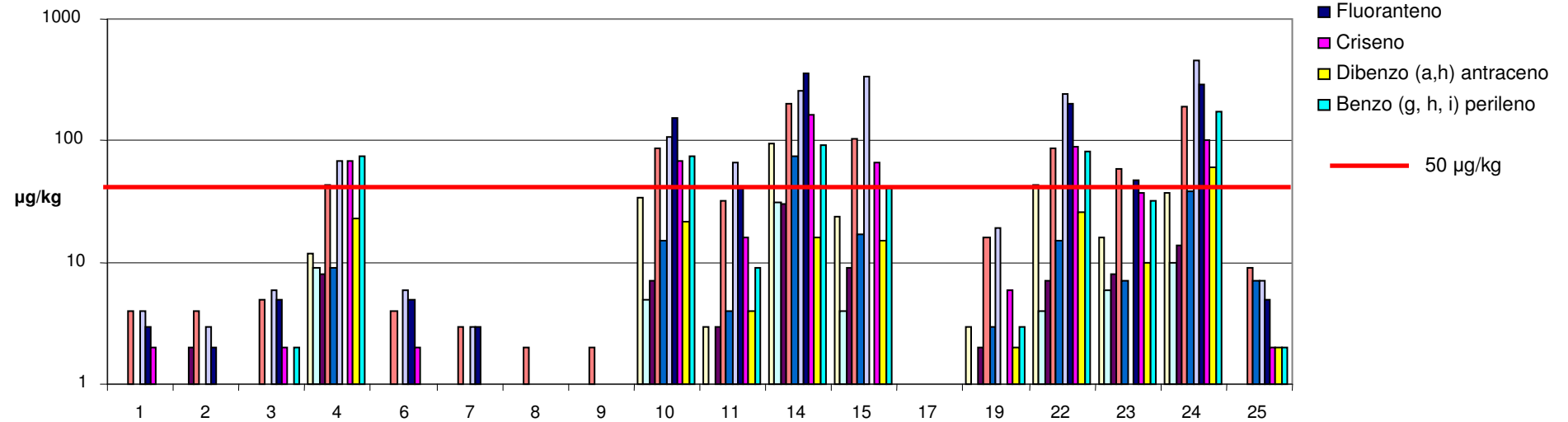
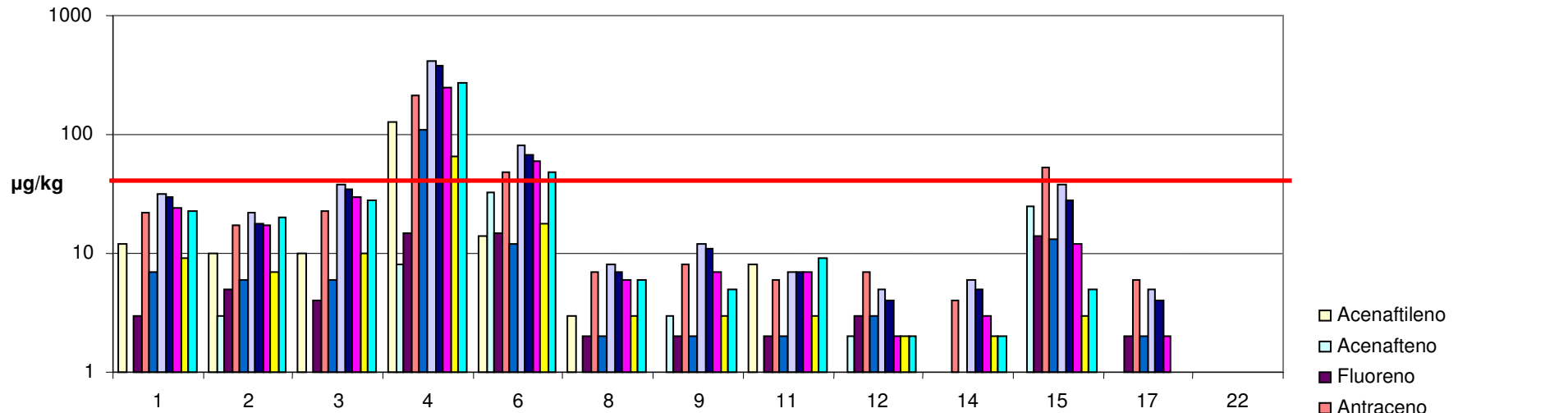
Las concentraciones de PAH's obtenidas para el 1º muestreo (Figura 245) muestran como la mayoría de los compuestos determinados aparecen por debajo de 50 µg/kg, a excepción del punto 4 (dársena de Cartagena) donde las concentraciones superan los 100 µg/kg e incluso los 300 µg/kg en el caso del Pireno y Fluoranteno (Figura 245).

Las concentraciones de PAH's obtenidas para el 3º muestreo (Figura 246) muestran como la mayoría de los compuestos determinados aparecen por debajo de 50 µg/kg, a excepción de los puntos 10, 14, 15, 22, 23 y 24 donde las concentraciones superan los 100 µg/kg e incluso los 300 µg/kg en el caso del Pireno y Fluoranteno para los puntos 14, 22 y 24, todos ellos pertenecientes al exterior de las dársenas (Figura 246)

Los compuestos que aparecen en mayor concentración son Pireno y Fluoranteno, seguidos de antraceno, benzo perileno y criseno (Figuras 245 y 246).

Parece apreciarse dos tipos de muestras, aquellas con valores muy elevados donde los compuestos mayoritarios son Pireno y Fluoranteno (puntos 10, 14, 22 y 24) y otras con valores menores donde los compuestos mayoritarios son Pireno, Antraceno y Acenaftileno (puntos 4, 15, 19 y 25) (Figuras 245 y 246).

La presencia de criseno y benzo (g,h, i) perileno denotan mezclas de hidrocarburos pesados, mientras que antraceno y fluoranteno corresponden a hidrocarburos más ligeros (Albaigés y Bayona, 2003).



9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

9.1. Calidad de las Aguas y Niveles de Referencia

La composición media de la columna de agua en el Puerto de Cartagena (Figura 247) corresponde con la composición media del agua marina del Mediterráneo (Millero, 2006).

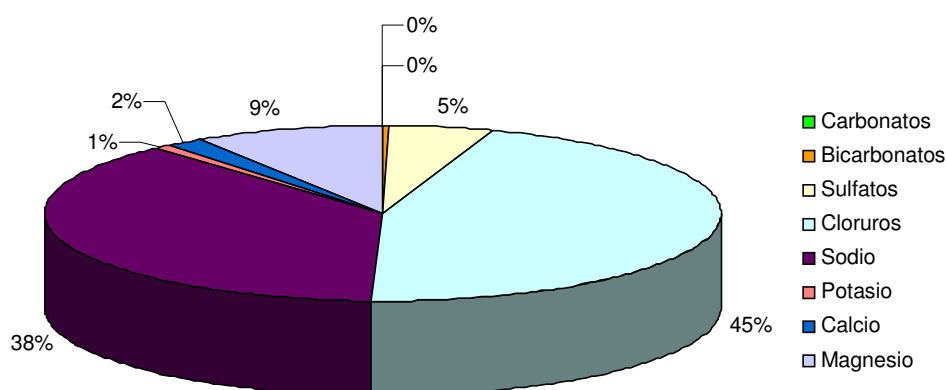


Figura 247. Composición media de la columna de agua de la zona de estudio

Los resultados obtenidos del análisis multivariable permiten introducir nuevas muestras a partir de la matriz de los coeficientes (Tabla 15) e interpretarlas en el entorno del estudio general. Uno de los objetivos de esta Tesis es la obtención de niveles de referencia y las bases para el diseño de la red de control a establecer, así, como los parámetros analíticos a determinar en la misma.

Para generar una clasificación en función de la buena o mala calidad de las aguas se han establecido tres muestras teóricas (calidad general, mala calidad A y mala calidad B) basadas en la media aritmética de los resultados de un año de muestreo (como se establece en el RD 258/1989 por el que se establece la normativa general sobre vertido de sustancias peligrosas desde tierra al mar) con los parámetros analíticos integrantes de los factores 1, 2, 3, 4 y 5 que no tienen valores de objetivos de calidad en la legislación (temperatura, C.E., oxígeno disuelto, bicarbonatos, sodio, cloruros, salinidad, potencial Redox, amonio y nitritos).

Para los parámetros analíticos que aparecen en el RD 258/1989 sobre vertidos de tierra a mar, en la lista I se contempla la eliminación de Hg y Cd y en su lista II la reducción de Zn, Cu, Pb, fosfatos, amonio y nitritos. Los parámetros que pertenecen a la lista II (Zn, Cu, Pb, amonio y nitritos) no cuentan con objetivos de calidad por lo que se definen estos en función del borrador de Real Decreto (que se encuentra

actualmente en discusión, 2007, en el Ministerio de Medio Ambiente) por el que se establecen los programas de reducción de la contaminación por vertidos de sustancias peligrosas al medio marino, para Zn, Cu y Pb (Tabla 21) que son más restrictivos que los contemplados en el RD 995/2000 por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes para aguas continentales.

Parámetro	Objetivos de calidad
Pb ($\mu\text{g/l}$)	10
Zn ($\mu\text{g/l}$)	60
Cu ($\mu\text{g/l}$)	25

Tabla 21. Objetivos de calidad y limitaciones al vertido de sustancias peligrosas al medio marino (Ministerio de Medio Ambiente, 2007, en borrador)

El valor medio de plomo para el Puerto de Cartagena ($3,93 \mu\text{g/l}$) es menor que el objetivo de calidad, y por ello se aplica este valor para determinar la “calidad general” (CG) (Tabla 22). Para zinc y cobre se han establecido a partir de los objetivos de calidad (Tabla 21) y teniendo en cuenta los cuartiles superiores para establecer los valores de “mala calidad” (Tabla 23).

Para establecer la composición media de la muestra de referencia de “calidad general” se ha tomado las medias aritméticas anuales (Tabla 11, apartado 8.3.1) de los parámetros analíticos que forman parte del resultado del análisis multivariable (Tabla 22).

	Nº de datos	Media
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	216	18,2
C.E. (mS/cm)	213	49,7
Oxígeno (mg/l)	189	8,35
Bicarbonatos (mg/l)	229	101
Redox (mV)	175	128
Salinidad Verdadera (g/l)	229	37,5
Sodio (mg/l)	229	11163
Cloruros (mg/l)	229	20743
Amonio (mg/l)	228	0,93
Nitritos (mg/l)	228	0,02
Pb ($\mu\text{g/l}$)	226	3,93

Tabla 22. Media aritmética anual de los parámetros integrantes de cada factor estadístico y que no están legisladas

Para poder establecer un agua de “mala calidad” se han tomado los valores correspondientes al análisis estadístico descriptivo para cada parámetro considerado, en concreto los valores correspondientes a los “cuartiles” que corresponden a una desviación del 25% de la media. Valores por encima y por debajo de estos límites dan lugar a “mala calidad A” y “mala calidad B” (Tabla 23), excepción hecha de la temperatura donde se ha optado por tomar valores por debajo del mínimo y por encima del máximo detectado en los diferentes muestreos (Tabla 11, apartado 8.3.1). En el caso de oxígeno disuelto y potencial Redox se considera el valor más bajo obtenido.

En el caso de amonio y nitritos se han considerado además los valores correspondientes a una muestra estándar de agua marina (Millero, 2006) que para amonio varía entre 0,018 y 0,90 mg/l para un pH de 8,1. Teniendo en cuenta para la zona de estudio el valor máximo de 0,9 mg/l de amonio para calidad general debido a su proximidad con la media (0,93 mg/l) y se añade un 25% para obtener los valores correspondientes a mala calidad (1,13 mg/l). Para nitritos los rangos varían entre 0,004 mg/l y 2,1 mg/l (Millero, 2006). Teniendo en cuenta el valor medio para la zona de estudio (0,02 mg/l) se ha considerado este valor como el de calidad general y el valor máximo (2,1 mg/l) más un 25% como mala calidad (Tabla 23).

	Calidad general	Mala calidad A	Mala calidad B
Temperatura (°C)	18,2	11	27
C.E. (mS/cm)	49,7	37	62
Oxígeno (mg/l)	8,35	6,2	6,2
Bicarbonatos (mg/l)	101	76	126
Redox (mV)	128	96	96
Salinidad Verdadera (g/l)	37,5	28	47
Sodio (mg/l)	11163	8372	13954
Cloruros (mg/l)	20743	15557	25929
Amonio (mg/l)	0,90	1,13	1,13
Nitritos (mg/l)	0,02	2,63	2,63
Zn (µg/l)	45	75	75
Cu (µg/l)	19	31	31
Pb (µg/l)	4	13	13

Tabla 23. Valores de “calidad general” (CG) y “mala calidad” (MA y MB)

Se ha considerado que agua de “mala calidad A” (MA) corresponderá a posibles vertidos de aguas residuales con baja salinidad, mientras que “mala calidad B” (MB) corresponderá posibles vertidos de aguas con elevada salinidad (Tabla 23).

Estos tres tipos de aguas establecidos se introducen, mediante la matriz de los coeficientes (Tabla 15, apartado 8.3.3.1), en el análisis factorial y se obtienen sus puntuaciones en cada factor de manera que pueden representarse gráficamente frente a estos con el total de las muestras (Figura 248).

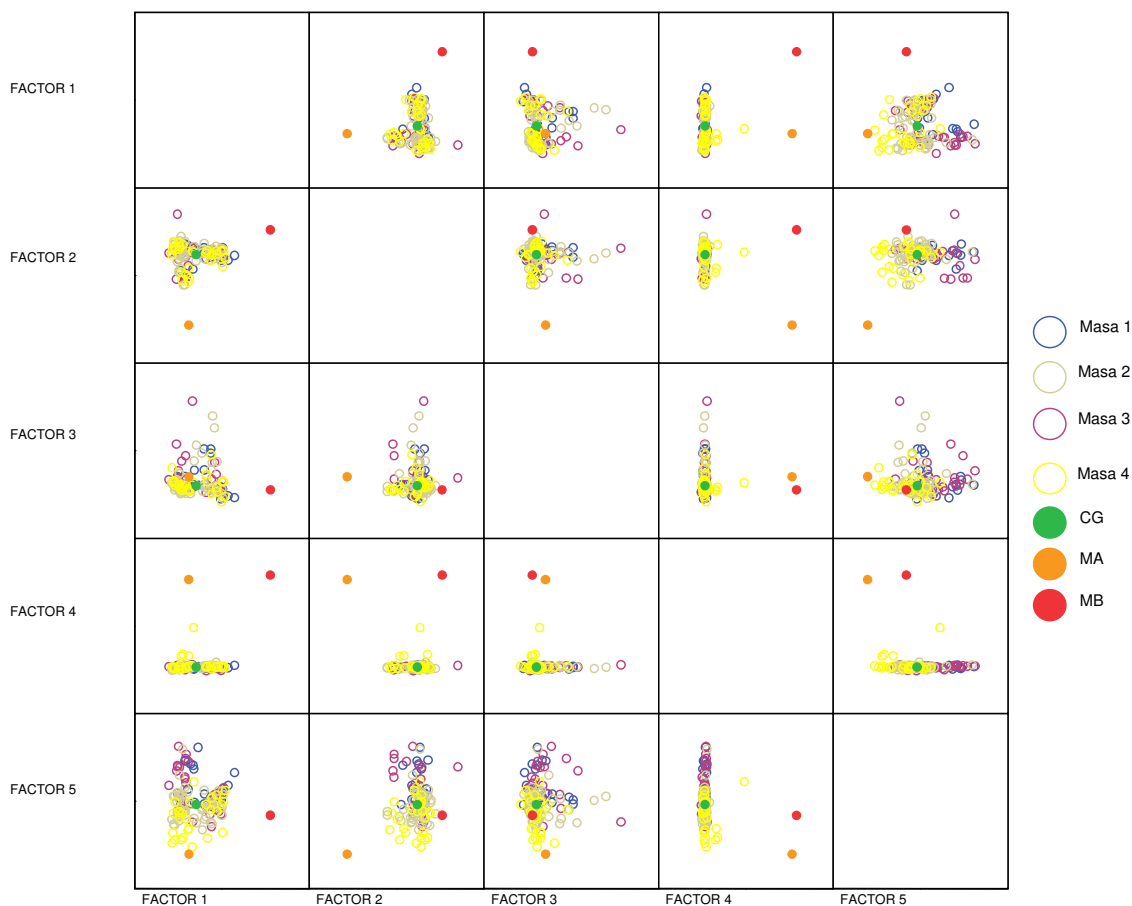


Figura 248. Distribución de los tipos de aguas “calidad general” (CG) y “mala calidad” (MA y MB) frente a los factores.

En la Figura 248 se observa una buena separación de los tres tipos de aguas (CG, MA y MB). Las mejores distribuciones aparecen en el Factor 1 frente al 2 y el 5, así como el Factor 2 frente al 3 y al 5 (Figura 248), ya que las muestras aparecen más dispersas y por lo tanto aportan mayor información, en los demás casos las muestras se alinean con respecto a uno de los factores solapándose e impidiendo ver distribución alguna. Estas distribuciones se representan en las figuras 249 a 256 que corresponden a cada una de las masas de agua definidas (Figura 36). Las muestras representadas corresponden al 2º y 3º muestreo, por ser estos los que cuentan con un mayor número de muestras (Tabla 10, apartado 7.1).

Además en las figuras 249 a 256 se han integrado, para todas las masa de agua, las muestras REF y SR, ya que las primeras corresponden al punto situado en la zona exterior y de mayor profundidad del área de estudio, mientras que las muestras SR corresponden a la zona de menor profundidad y renovación de aguas (bomba de Santa Lucía, Mapa I, Anexo I).

Para comprobar la validez de la matriz de correlación para muestras que no pertenecen a aquellas con las cuales se realizó el análisis factorial (ACP), se introdujo en la representación de calidad dos muestras (Figuras 250, 252, 254 y 256) pertenecientes al entorno próximo (15 km) del Puerto de Cartagena, con características diferentes:

- La Azohía (AZ): playa situada al suroeste de Cartagena, junto al Cabo Tiñoso (Figura 14), zona de litoral considerada de alto valor ecológico (Calvín, 2003).
- Bahía de Portman (PM): bahía al noreste de Cartagena colmatada por residuos de la minería de sulfuros metálicos (Calvín, 2003).

Las muestras se analizaron siguiendo la metodología descrita en esta Tesis (apartado 7.2.1) y los parámetros analíticos a integrar en el estudio de calidad son:

Parámetro	AZ	PM
Temperatura (°C)	18	18
C.E. (mS/cm)	47,8	50
Bicarbonatos (mg/l)	124	122
Sodio (mg/l)	11510	11263
Oxígeno disuelto (mg/l)	8,40	8,20
Salinidad (g/l)	38,4	38,4
Cloruros (mg/l)	21300	21300
Amonio (mg/l)	7,87	8,00
Nitritos (mg/l)	0,023	0,020
Cobre (µg/l)	11,1	14,8
Plomo (µg/l)	1,87	200
Zinc (µg/l)	4	114
Potencial Redox (mV)	130	125

Tabla 24. Parámetros integrantes de los Factores 1, 2, 3, 4 y 5 para las muestras AZ y PM

Se observa (Figuras 249 a 252) que la nube principal de muestras siempre se sitúa entre los valores 2 y -2 de los factores representados (Factores 1, 2, 3 y 5). Se considera por lo tanto que las muestras representadas en el interior del círculo se corresponden con lo que se ha denominado “calidad general” (CG), mientras que las muestras que quedan representadas en el exterior serían anomalías relacionadas con “mala calidad” (MA y MB).

La **Masa 1** no presenta desviaciones respecto del factor 4 (Figura 248) por lo que no se ha representado este factor. En todas las representaciones (Figura 249), se observa como los puntos SR y 2, a todas las profundidades (A, B C, D, E), son los que se desvían de la “calidad general”. El punto SR se desplaza hacia CG a lo largo del eje correspondiente al factor 1 y el factor 5 lo cual hace pensar en la influencia en ese punto de aguas de elevada mineralización y concentraciones de Zn. El punto 2 se desplaza hacia valores elevados del factor 5 y 3, lo cual pudiera indicar elevadas concentraciones de cobre, plomo y zinc (Figura 249).

Las muestras correspondientes al punto REF aparecen en todas las correlaciones en la zona definida de “calidad general” (Figura 249) como cabía esperar.

La muestra AZ (Figura 250) se adapta a las tendencias y valores del 3º muestreo, aunque con cierto desplazamiento en el eje correspondiente al Factor 5 ya que sus valores de potencial Redox son mayores, siempre aparece en el área de “calidad general” o su entorno próximo (Figura 250).

La muestra PM aparece generalmente fuera de la zona de “calidad general”, en la relación Factor 2/Factor 3 (Figura 250) el desplazamiento es máximo en el sentido del eje correspondiente al Factor 3 (cobre y plomo)

La **Masa 2**, zona exterior, no presenta desviación de la “calidad general” respecto del Factor 4 (amonio, nitritos) por lo que no se ha representado este factor (Figura 248). En todas las representaciones (Figura 251) se observa como los puntos 3, 22 y 24 se desvían de la “calidad general”. El punto 3, a 10 m de profundidad (3C), se desplaza hacia MA a lo largo del eje correspondiente al Factor 2 lo cual hace pensar en la influencia en ese punto de aguas de menor salinidad. El punto 24, a 10 m de profundidad (24B), se desplaza hacia valores elevados del factor 5, lo cual indica elevadas concentraciones de Zn (Figura 251). En esta masa de agua se observa claramente la diferenciación entre los dos muestreos representados (2º y 3º muestreo) a lo largo del eje correspondiente al Factor 1, factor en el cual puntúa la temperatura (Figura 251).

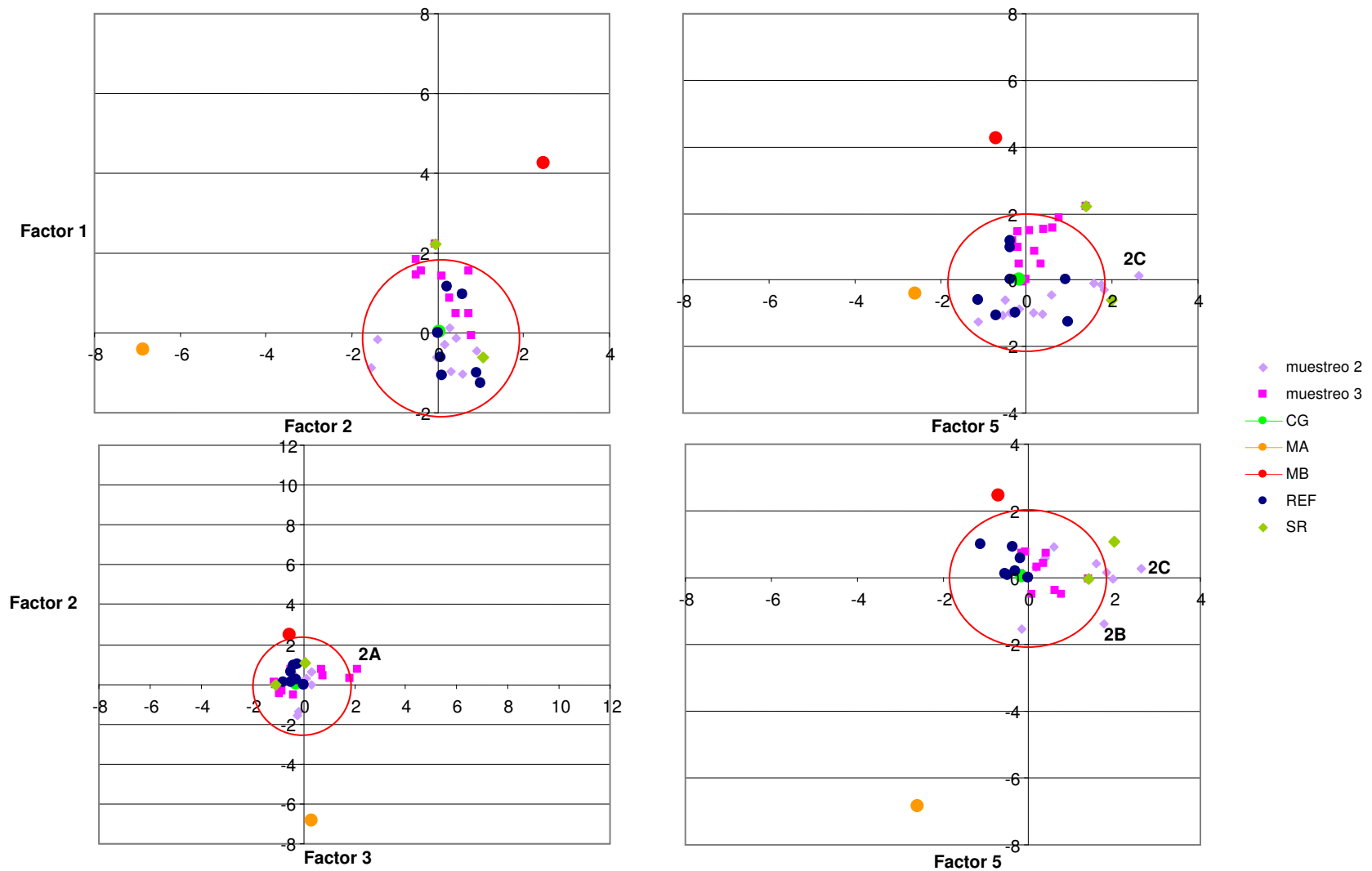


Figura 249. Distribución de las muestras de la Masa 1 respecto a la calidad

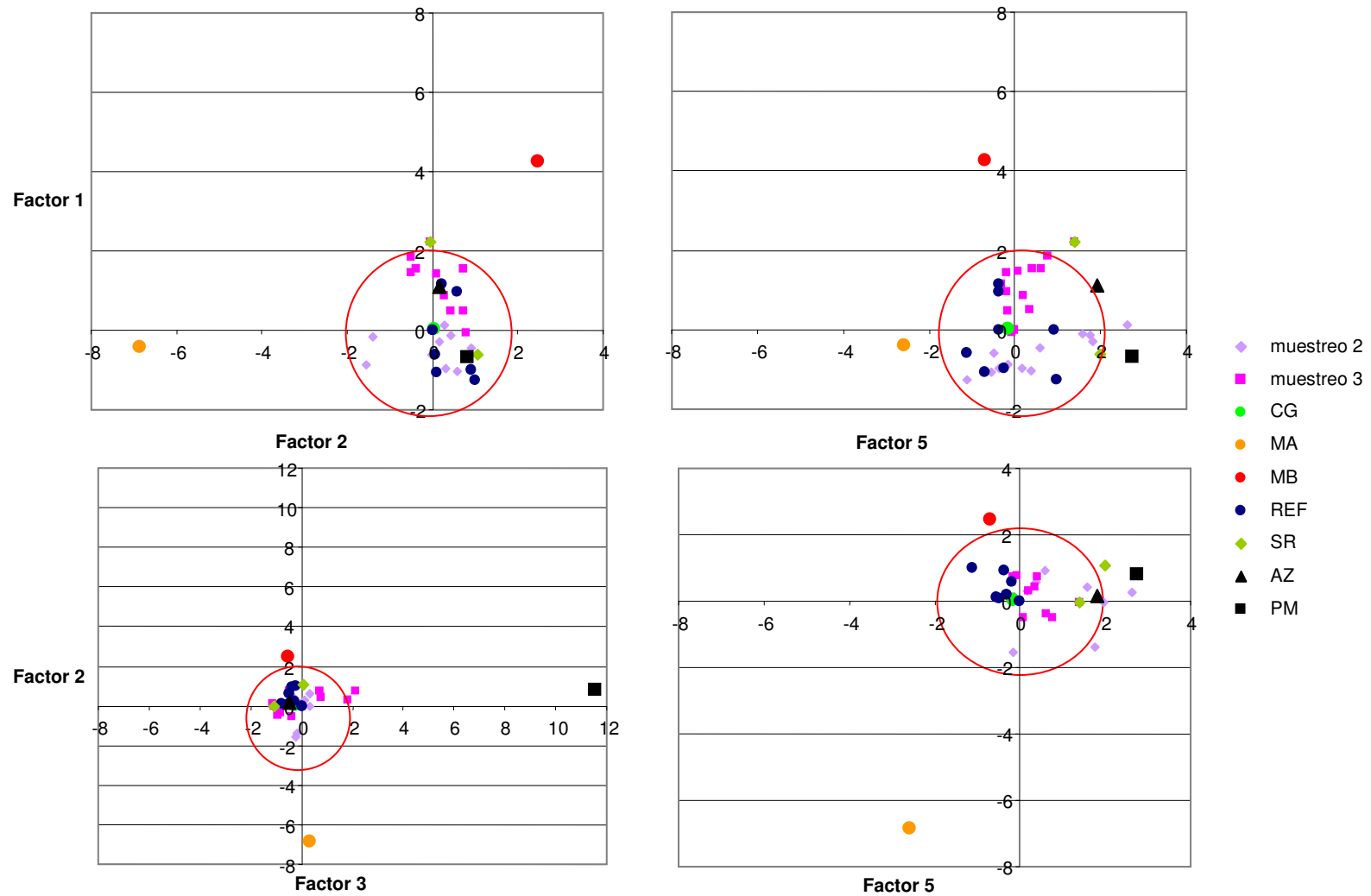


Figura 250. Distribución de las muestras AZ y PM respecto a la calidad de la Masa 1

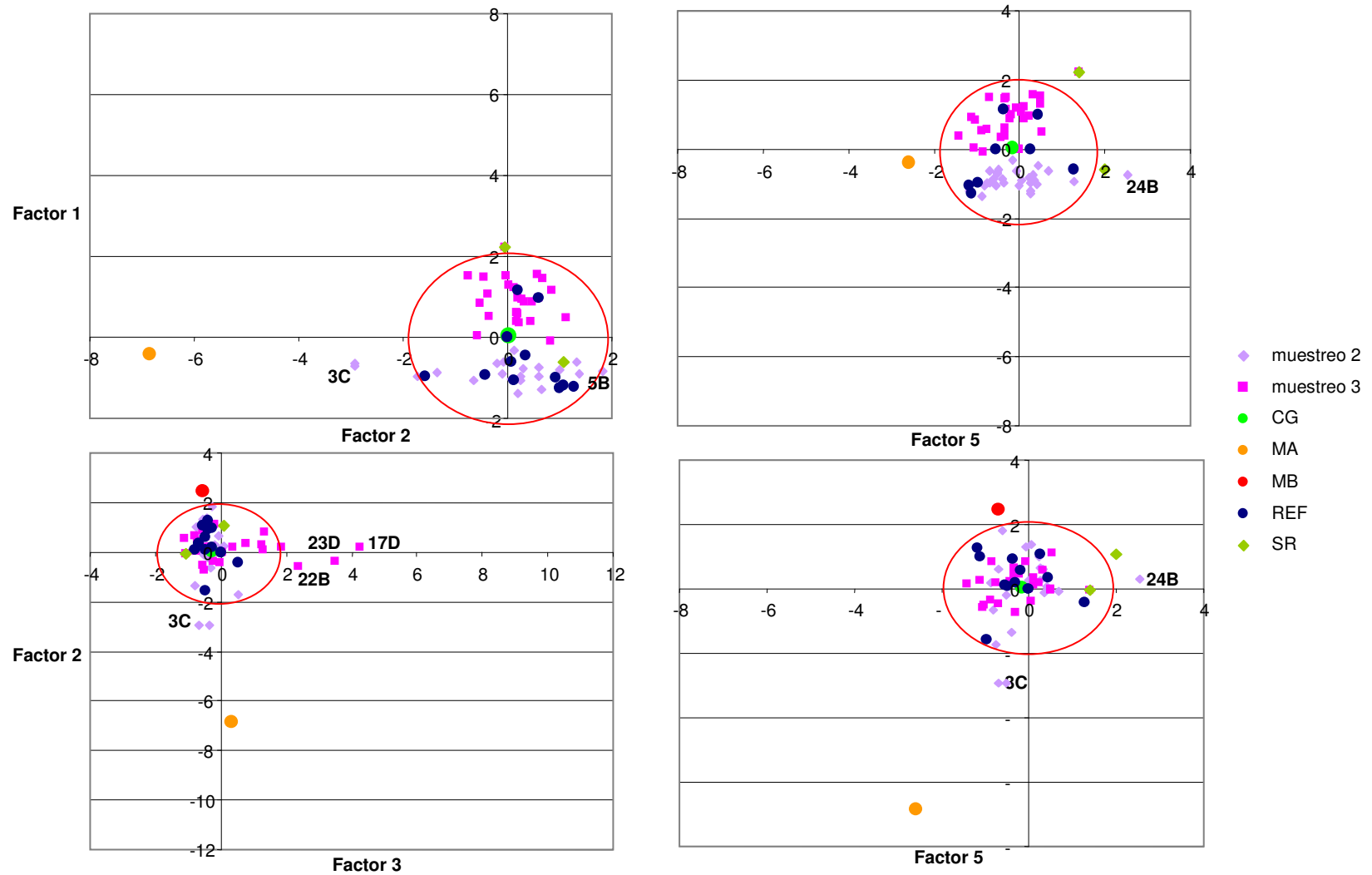


Figura 251. Distribución de las muestras de la Masa 2 respecto a la calidad

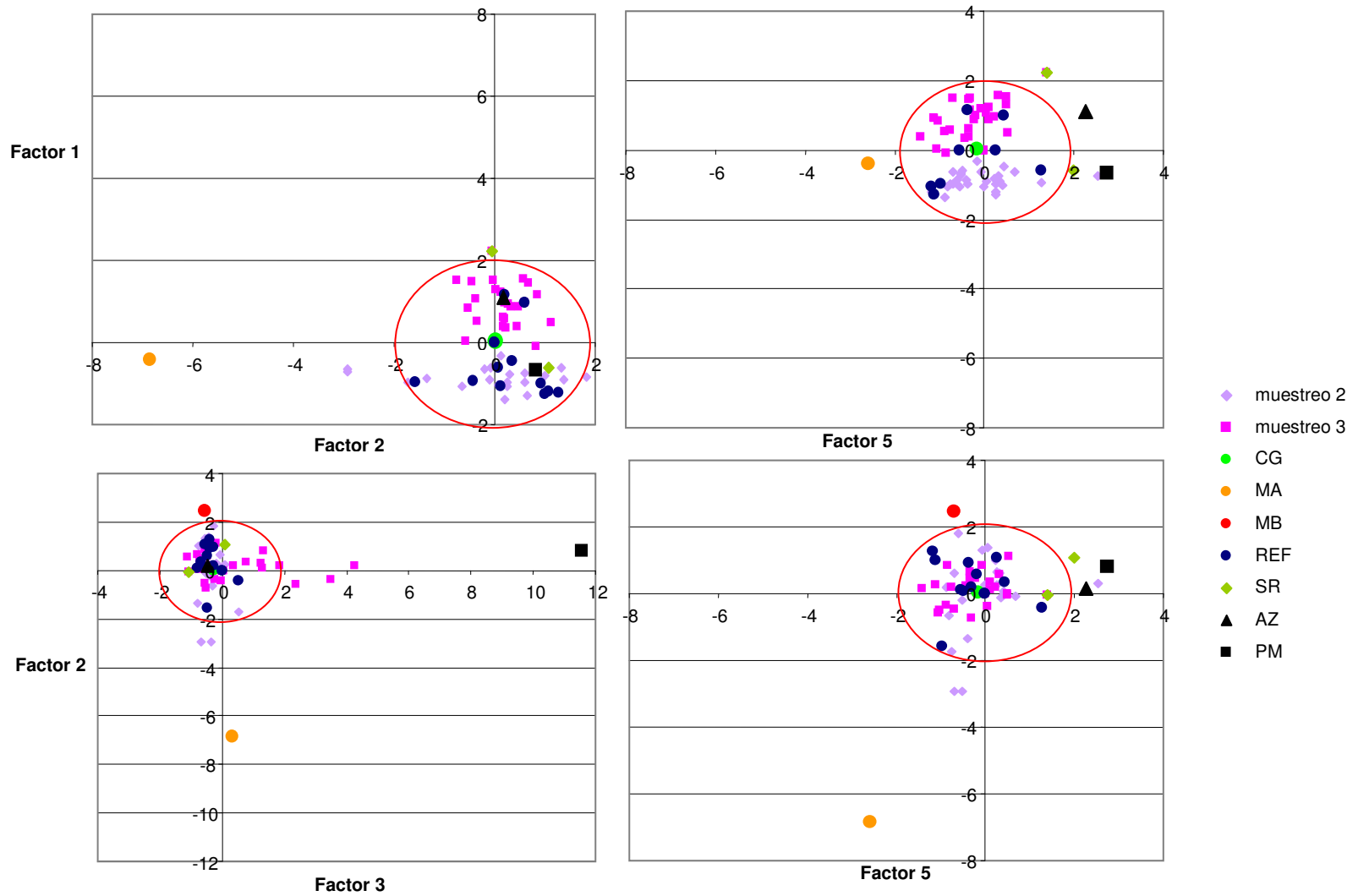


Figura 252. Distribución de las muestras AZ y PM respecto de la calidad de la Masa 2

La muestra AZ (Figura 252) se mantiene en la zona “calidad general” para los Factores 1, 2 y 3, sin embargo se desplaza a lo largo del eje correspondiente al Factor 5, esto puede deberse a su elevado potencial Redox y bajos contenidos en zinc frente a la “calidad general de la zona” (Figura 252).

La muestra PM se mantiene en la zona de “calidad general” para los Factores 1 y 2, en el Factor 3 y debido a sus elevados contenidos en cobre y plomo se desplaza completamente fuera (Figura 252).

La **Masa 3**, dársena de Escombreras (Figura 253), no presenta desviación de la “calidad general” respecto del factor 4 (amonio, nitritos) por lo que no se ha representado este factor. En todas las representaciones se observa como son los puntos 8, 11, 12 y 25 los que se desvían de la “calidad general”. El punto 8, en concreto a la profundidad de 5 m, se desplaza hacia MB a lo largo del eje correspondiente al Factor 2 lo cual hace pensar en la influencia en ese punto de aguas de elevada salinidad, también lo hace a lo largo del eje correspondiente al Factor 5, debido a sus elevados contenidos en zinc. Los puntos 12 y 25 se desplazan hacia valores elevados del Factor 5 y 3, lo cual indica elevadas concentraciones de cobre, plomo y zinc (Figura 253).

La muestra AZ (Figura 254) tiene posiciones similares respecto de la calidad de la Masa 3 que de la Masa 4, desviándose de la zona de “calidad general” a lo largo del eje correspondiente al Factor 5 (Figura 254 y 256).

La muestra PM presenta posiciones similares respecto de la calidad de la Masa 3 que de la Masa 4, desviándose de la zona de “calidad general” a lo largo del eje correspondiente al Factor 5 y fundamentalmente a lo largo del eje correspondiente al Factor 3 (Figura 254 y 256).

En la **Masa 4**, zona de transición (Figura 255), se observa como los puntos 6, 10 y 19 son los que se desvían de la “calidad general”. Los puntos 6 y 10, se desplazan hacia MA a lo largo del eje correspondiente al Factor 2 lo cual hace pensar en la influencia en esos puntos de aguas de menor salinidad. El punto 10 se comporta de forma diferente en el 2º y 3º muestreo. En el 2º muestreo se desplaza hacia valores negativos del Factor 2, lo cual pudiera indicar la mezcla con aguas de baja salinidad (Figura 255). En el 3º muestreo se desplaza hacia MA a lo largo de eje correspondiente al Factor 5, lo cual parece indicar valores bajos de zinc respecto al resto de puntos. El punto 19 se aproxima a MA desplazándose hacia valores bajos del Factor 5 (Figura 255), lo cual se debe a sus bajos valores de potencial Redox (Tabla 2, Anexo II).

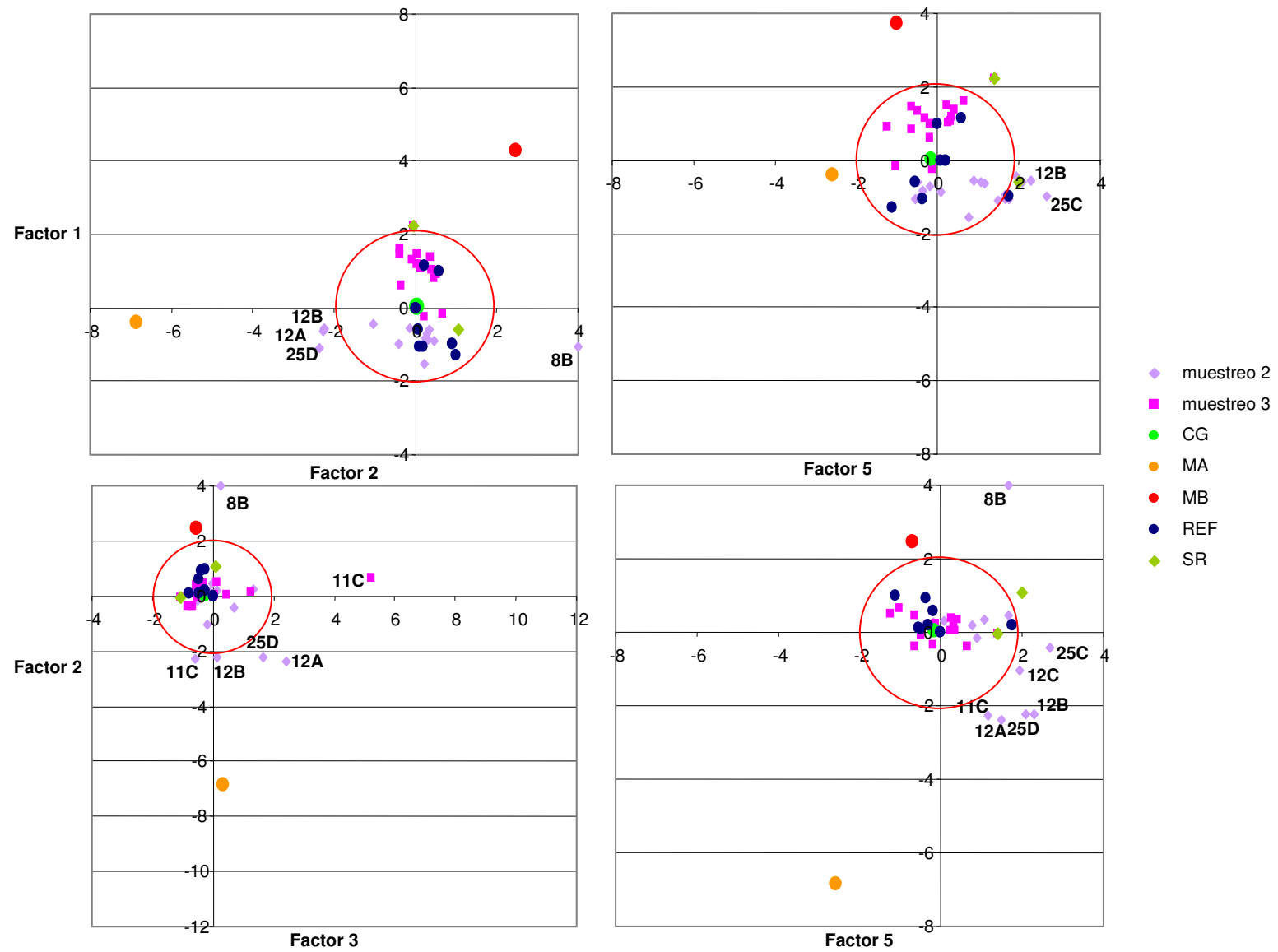


Figura 253. Distribución de las muestras de la Masa 3 respecto a la calidad

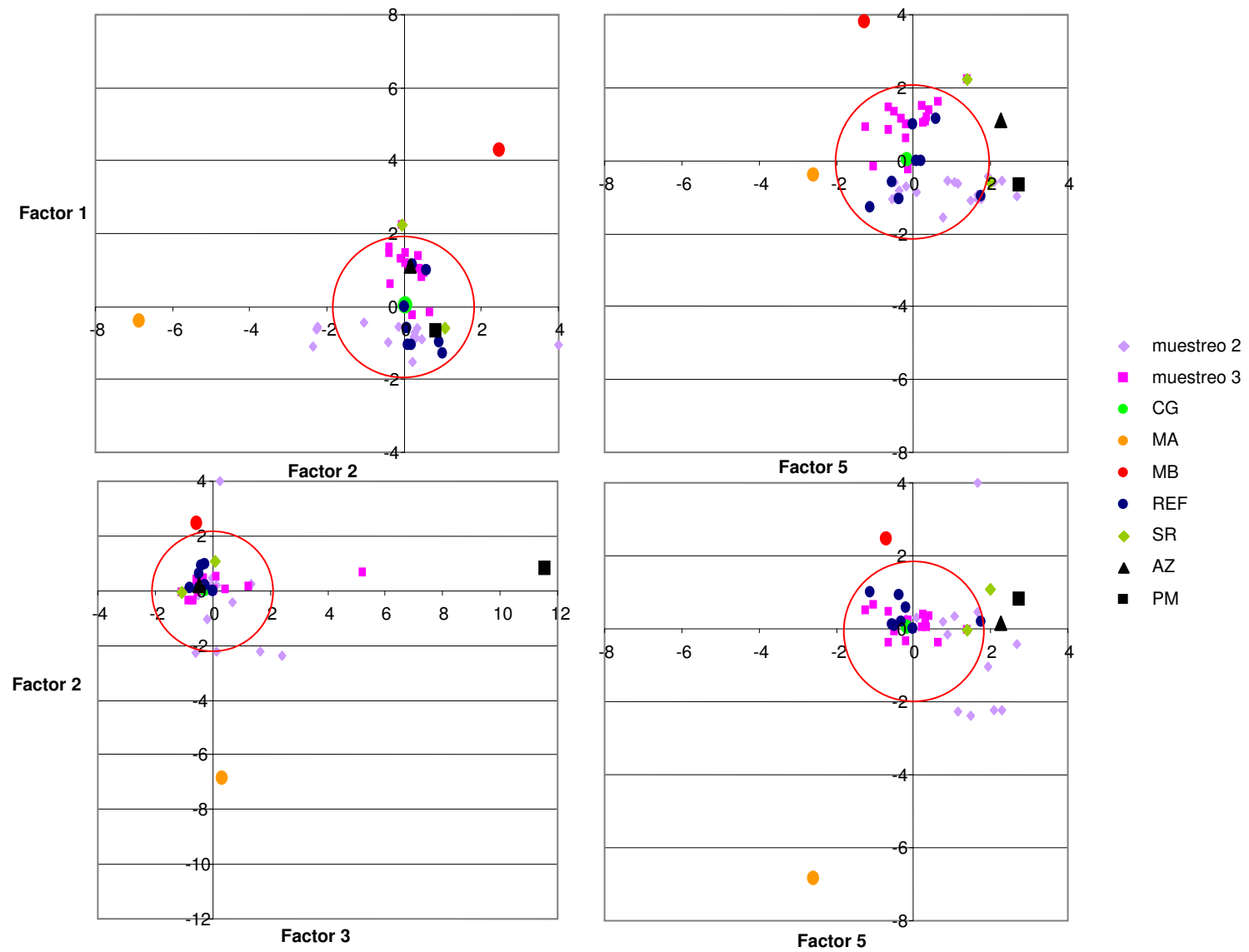


Figura 254. Distribución de las muestras AZ y PM respecto de la calidad de la Masa 3

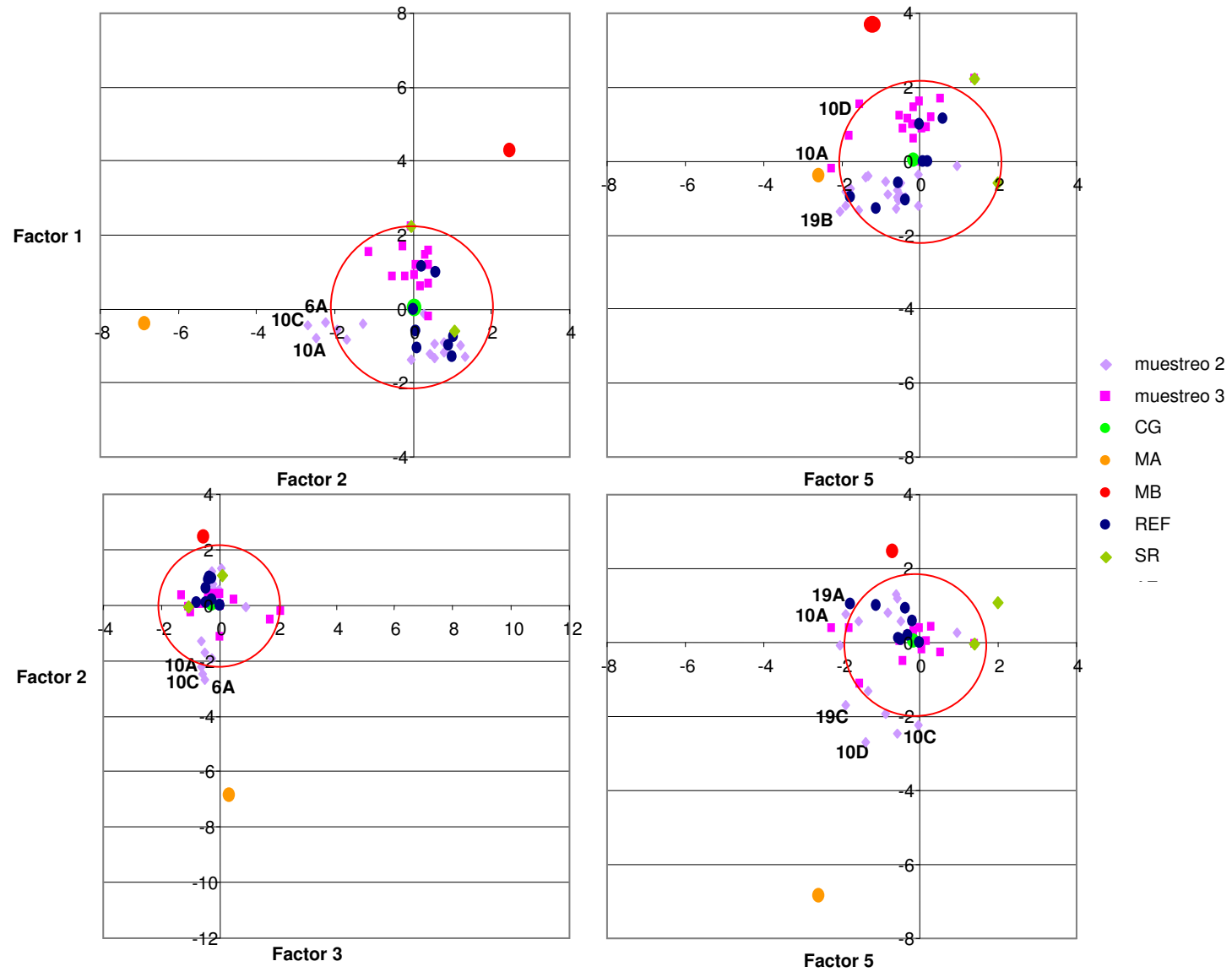


Figura 255. Distribución de las muestras de la Masa 4 respecto a la calidad (Factores 1, 2, 3 y 5)

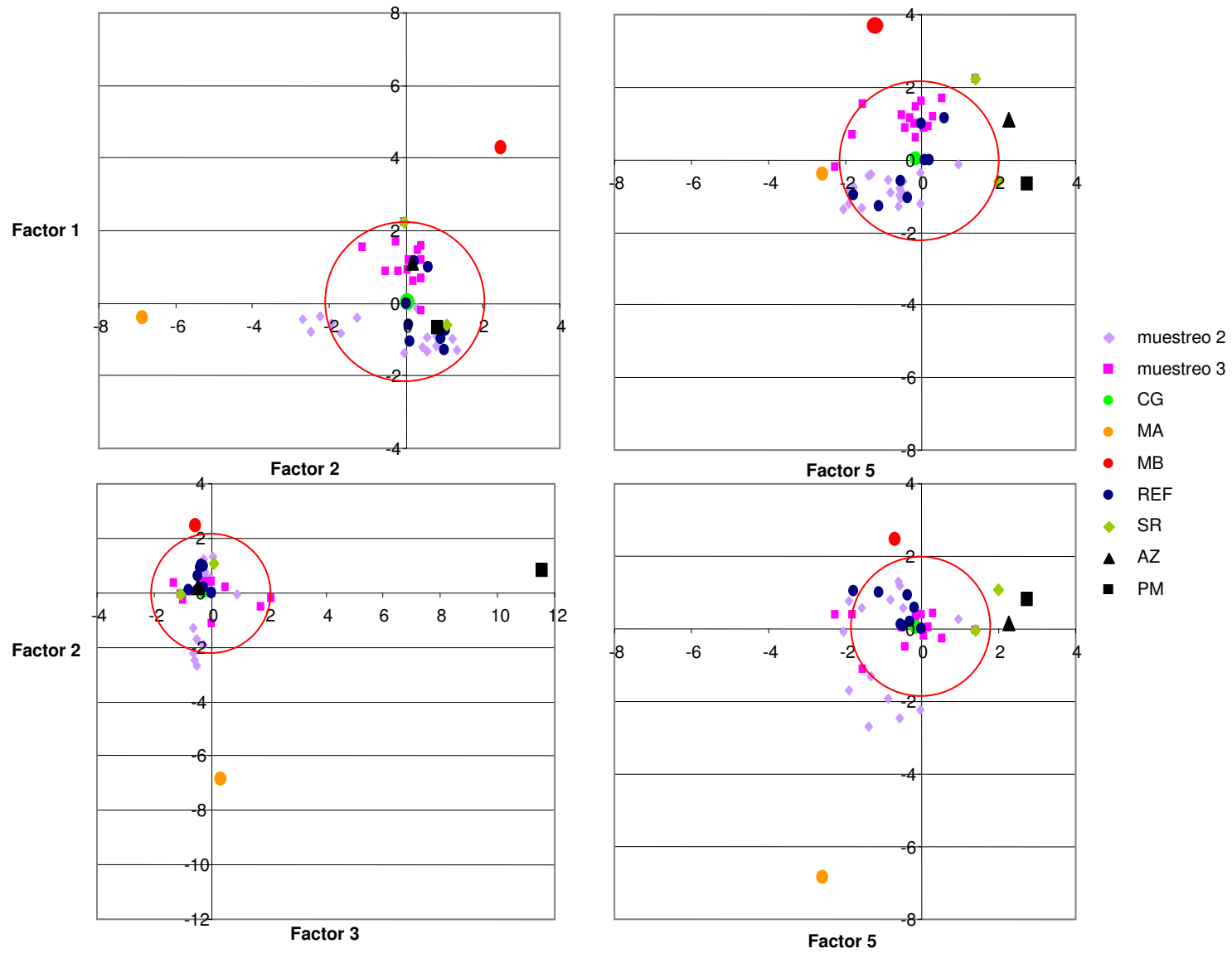


Figura 256. Distribución de las muestras AZ y PM respecto de la calidad de la Masa 4 (Factores 1, 2, 3, y 5)

Las muestras AZ y PM (Figura 256) se sitúan en las mismas posiciones con respecto a la calidad de la Masa 4 (Factores 1, 2, 3 y 5) que con respecto a la calidad de las otras masas de agua (Figura 256)

La Masa 4 presenta desviación de la “calidad general” respecto del Factor 4 (amonio, nitritos) por lo que se ha representado a parte (Figuras 257 y 258).

Son los puntos 6 y 19 los que se desplazan desde el área de “calidad general” hacia MA a lo largo del eje correspondiente al Factor 4, es decir son muestras con valores anómalos de amonio y nitritos respecto al resto de la zona.

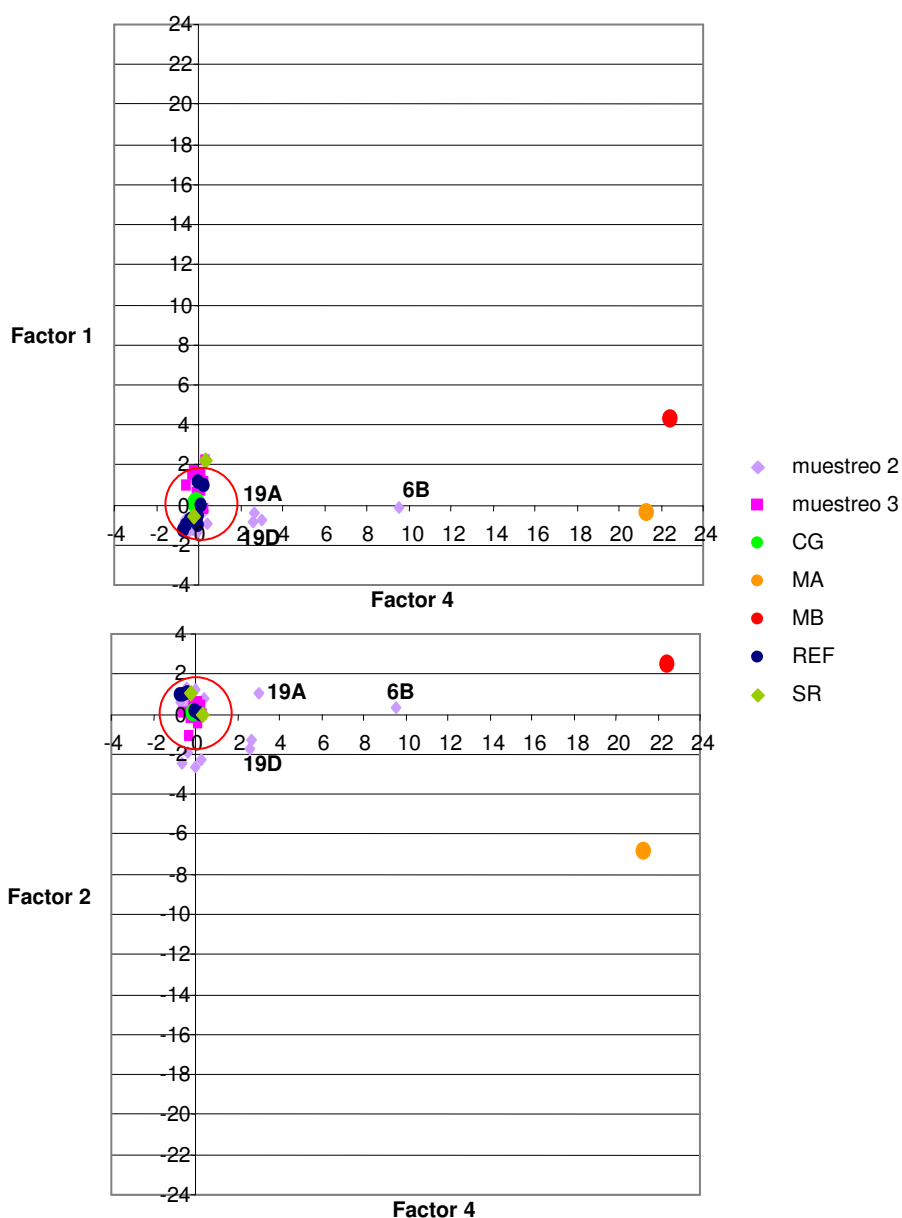


Figura 257. Distribución de las muestras de la Masa 4 respecto a la calidad (Factor 4)

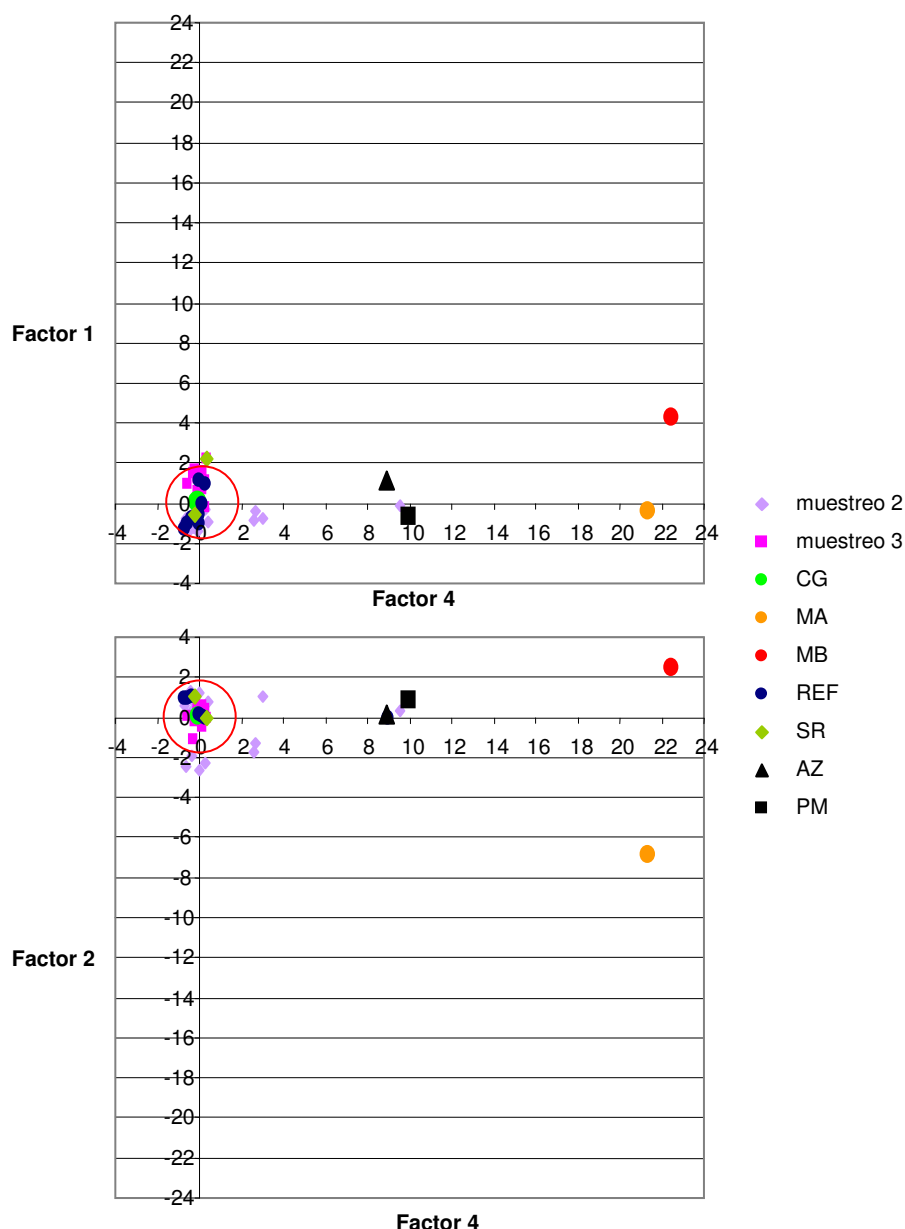


Figura 258. Distribución de las muestras AZ y PM respecto a la calidad de la Masa 4 (Factor 4)

Las muestras AZ y PM (Figura 258) se desplazan a lo largo del eje correspondiente al Factor 4 hacia MA y MB, sus concentraciones de amonio y nitritos son mayores que las correspondientes a la “calidad general” de la Masa 4, aunque similares a las del punto 6 a 5 m (6B) (Figura 257).

Esto permite concluir que mediante la aplicación de la matriz de correlación (Tabla 16) se han establecido los niveles de referencia o “calidad general” de las masas de agua definidas (Tabla 23), y se posibilita la introducción de campañas de muestreo posteriores o puntos singulares (como AZ y PM) que, de este modo, quedan clasificados automáticamente permitiendo a la vez evaluar la evolución de las características físico-químicas de cada masa de agua.

9.2. Objetivos de Calidad para Metales Pesados en las Aguas

La determinación de metales pesados en las aguas de la zona de estudio, cuyos resultados se recogen en el apartado 8.4.1.3, permiten realizar la representación espacial de cadmio, cobre, zinc y plomo a diferentes profundidades durante el 3º muestreo (Figura 259), por ser este el que cuenta con el mayor número de muestras (Tabla 10, apartado 7.1), no se han incluido los valores de mercurio debido a que no se determinó en este muestreo, no se representó el hierro por ser el metal con mayores concentraciones y por lo tanto ocultaría las variaciones de los demás.

Se observar como en superficie la mayoría de las muestras presentan valores entre 50 y 100 µg/l de estos cuatro metales. Los metales mayoritarios de los representados son cobre y zinc, siendo solamente el zinc mayoritario (60%) frente al cobre, en la dársena de Cartagena (Masa 1) (Figura 259).

En la zona exterior (Masas 2 y 4) los puntos 3, 5, 10, 22 y REF presentan porcentajes de zinc (10 - 12%) menores que el resto de los puntos muestreados (25 – 60%), así como en la dársena de Escombreras (Masa 3) los puntos 11 y 12 (Figura 259).

A la profundidad de 10 m (Figura 260) la mayoría de las muestras presentan valores menores de 50 µg/l como concentración total de estos cuatro metales, a excepción de la dársena de Cartagena (Masa 1) donde los valores son mayores de 100 µg/l, incluso mayores que en superficie. Además en la misma dársena de Cartagena se observa como a 10 m de profundidad es el cobre el elemento mayoritario (70 – 80%) frente al zinc que lo era en superficie (Figuras 259 y 260).

Cabe destacar los porcentajes de cadmio del punto 22 (12 - 14%) que son superiores en ambas profundidades al resto de puntos muestreados (0 - 8%), e igualmente ocurre con el punto REF (12%) a 10 m (Figuras 259 y 260).

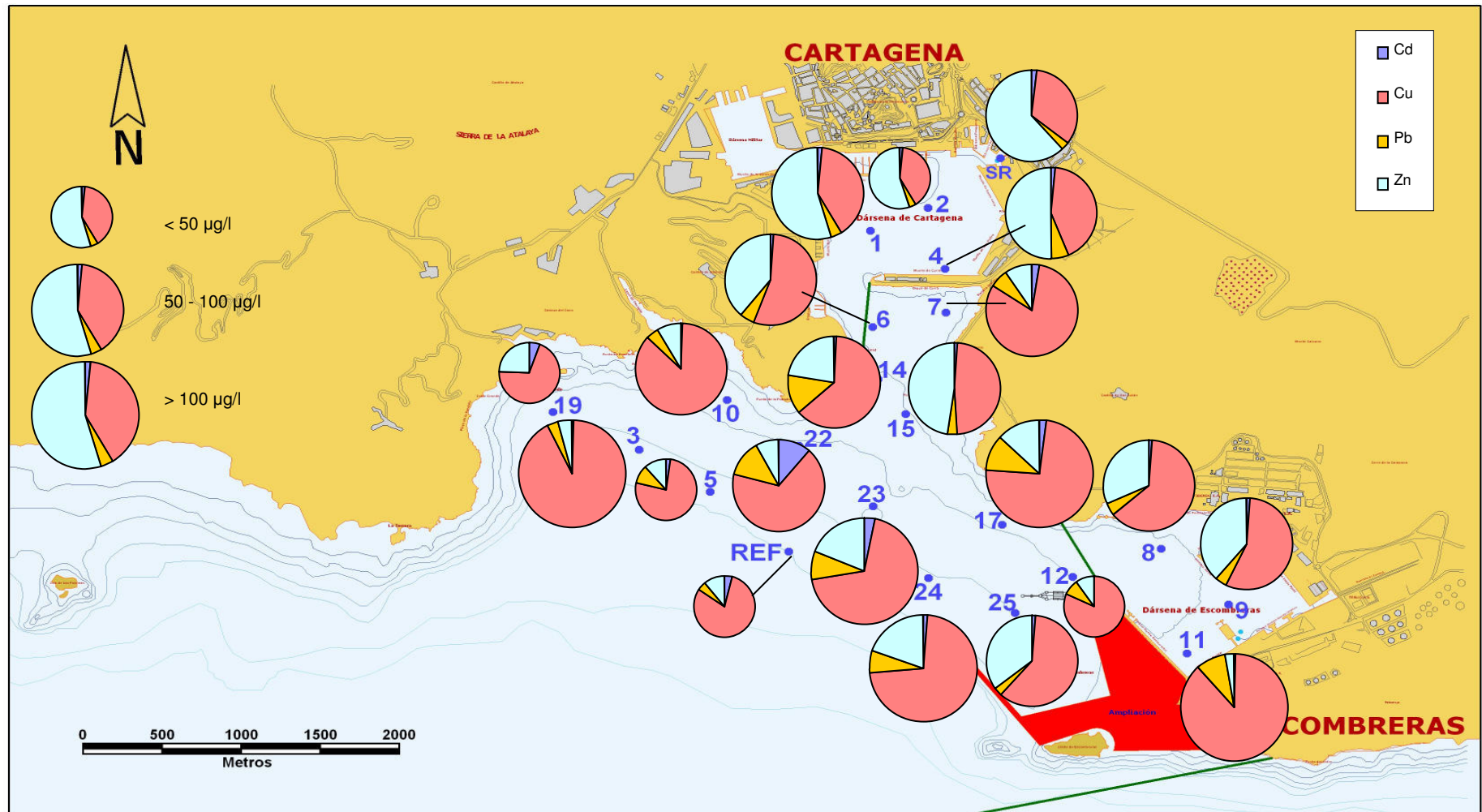


Figura 259. Porcentaje de metales pesados (Cd, Cu, Zn y Pb) en las muestras de agua a 1m de profundidad correspondientes al 3º muestreo

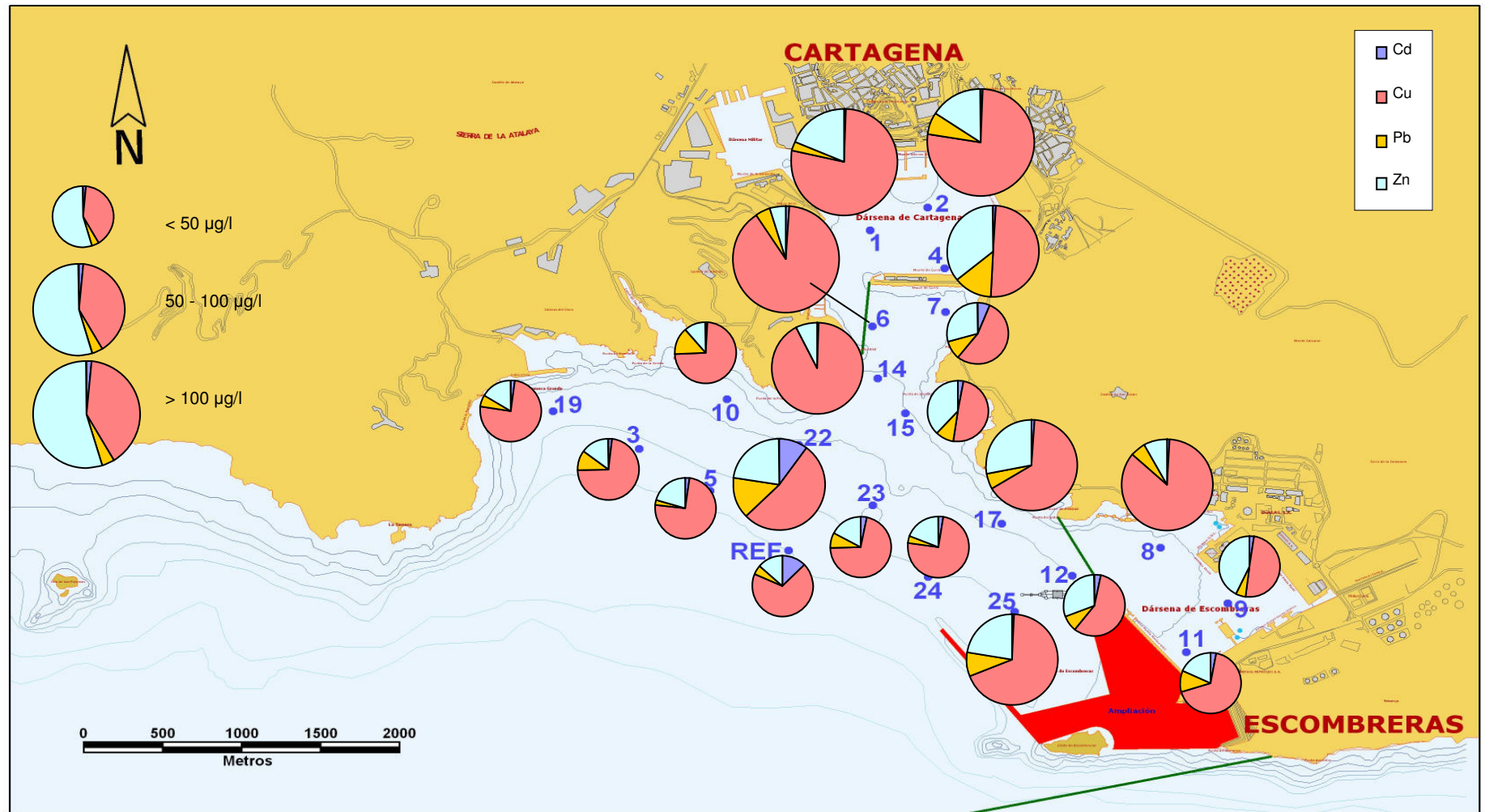


Figura 260. Porcentaje de metales pesados (Cd, Cu, Zn, Pb) en las muestras de agua a 10 m de profundidad correspondientes al 3º muestreo

Para conocer la situación del Puerto de Cartagena en cuanto a posible afección por metales pesados se deben establecer unos objetivos de calidad para cada uno de los metales determinados. En el RD 995/2000 se recogen los objetivos de calidad para aguas continentales y en la Orden de 31 de octubre de 1989 por la que se establecen normas de emisión, objetivos de calidad, métodos de medida de referencia y procedimientos de control relativos a determinadas sustancias peligrosas en los vertidos desde tierra al mar donde se establecen objetivos de calidad para cadmio y mercurio (Tabla 25).

En el RD 258/1989 sobre vertidos de tierra a mar, en la lista II sobre reducción de zinc, cobre y plomo no cuenta con objetivos de calidad por lo que se estiman estos en función del borrador de Real Decreto por el que se establecen los programas de reducción de la contaminación por vertidos de sustancias peligrosas al medio marino (Ministerio de Medio Ambiente, 2007) (Tabla 25).

Contaminante	Objetivos de Calidad (valor medio anual en µg/l)		
	RD 995/2000	Orden 31 de octubre 1989	Ministerio de Medio Ambiente 2007 (Borrador)
Hg	-	0,3 -0,5	-
Cd	-	2,5 - 5	-
Cu	120	-	25
Pb	50	-	10
Zn	300	-	60

Tabla 25. Objetivos de calidad para metales pesados

En esta Tesis se decide utilizar como objetivos de calidad los recogidos en la Orden de 31 de octubre de 1989 para mercurio y cadmio y los recogidos para cobre, zinc y plomo en el borrador de Real Decreto (Ministerio de Medio Ambiente, 2007) por ser estos más restrictivos que los contemplados en el RD 995/2000 que es únicamente para aguas continentales (Tabla 25).

Para el mercurio los valores objetivo de calidad fijados por el RD 258/1989 y recogidos en la Orden de 31 de octubre de 1989 y su valor en aguas de estuarios afectadas por vertidos no excederá de 0,5 $\mu\text{g/l}$, para aguas del mar territorial y aguas interiores distintas a las de estuarios no excederá de 0,3 $\mu\text{g/l}$ (Tabla 25).

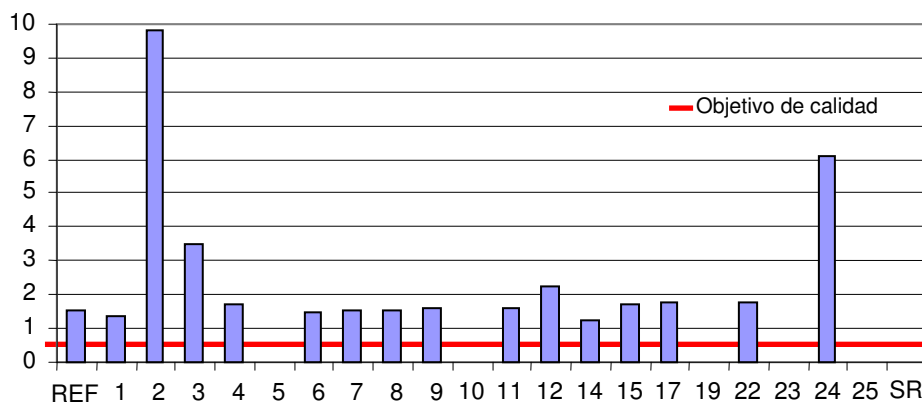


Figura 261. Valores medios anuales de Hg ($\mu\text{g/l}$)

Todos los puntos del Puerto de Cartagena exceden el valor objetivo de calidad para aguas de estuario afectadas por vertidos (0,5 $\mu\text{g/l}$) (Figura 261).

La Orden de 31 de octubre de 1989 establece que en aguas de estuarios afectadas por vertidos la concentración de cadmio no debe exceder de 5 $\mu\text{g/l}$, en aguas del mar territorial y aguas interiores distintas a las de estuarios no superará los 2,5 $\mu\text{g/l}$ (Tabla 25).

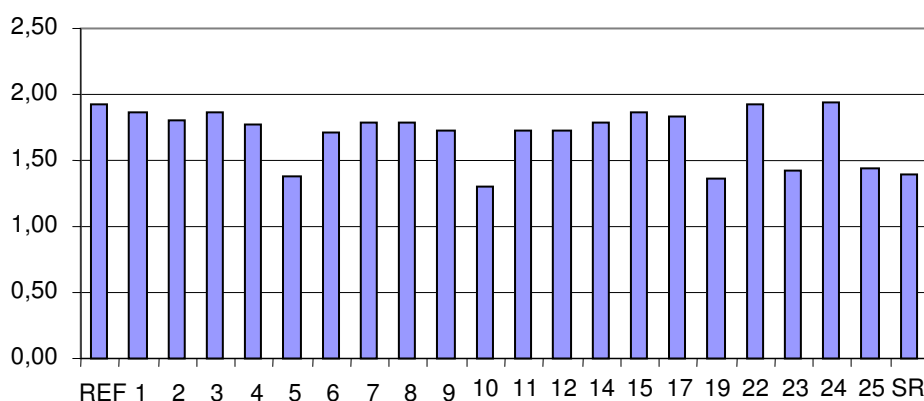


Figura 262. Valores medios anuales de Cd ($\mu\text{g/l}$)

En ningún punto muestreado del Puerto de Cartagena se exceden los valores objetivo de calidad para cadmio (Tabla 25, Figura 262).

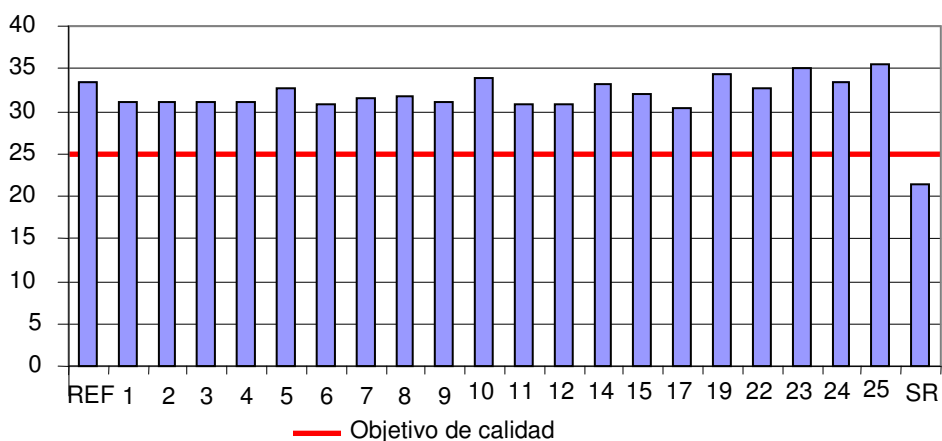


Figura 263. Valores medios anuales de Cu (µg/l)

Prácticamente el 100% de los puntos del Puerto de Cartagena superan el valor objetivo de calidad de cobre (Tabla 25, Figura 263).

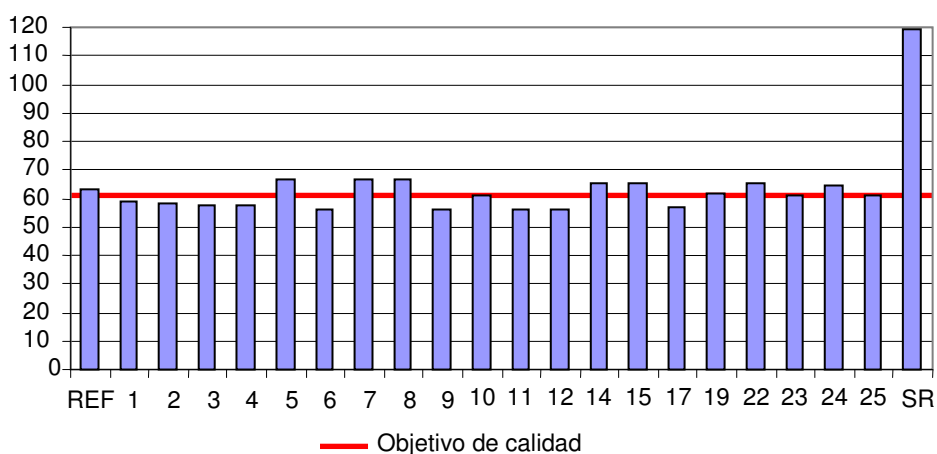


Figura 264. Valores medios anuales de Zn (µg/l)

El 41% de los puntos muestreados en el Puerto de Cartagena, puntos REF, 6, 8, 9, 15, 17, 23, 24 y SR, superan el valor objetivo de calidad para zinc (Tabla 25, Figura 264).

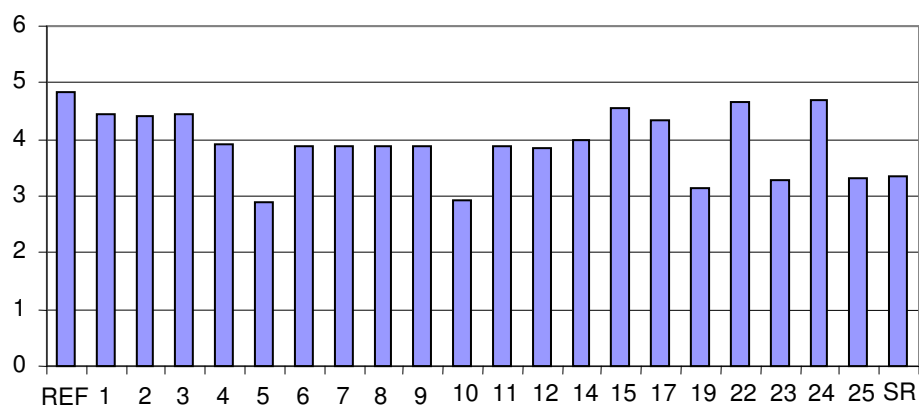


Figura 265. Valores medios anuales de Pb (µg/l)

Ninguno de los puntos muestreados en el Puerto de Cartagena supera el valor objetivo de calidad para Pb (Tabla 25, Figura 265).

Puede concluirse que se superan los valores objetivo de calidad para mercurio, cobre y zinc; sustancias que por lo tanto deben ser objeto de restricciones en el vertido en el Puerto de Cartagena.

9.3. Calidad de los Sedimentos

9.3.1. Metales pesados y objetivos de calidad

Para poder establecer una comparativa entre las concentraciones de metales pesados en la columna de agua y los sedimentos se han representado estos en base a su porcentaje en cada muestra de sedimentos para el 3º muestreo (Figura 266). En esta figura se observa que el zinc es el metal mayoritario, a excepción del punto 25 donde lo es el bario (Figura 266).

En el interior de las dársenas los porcentajes de zinc son muy elevados (72 – 80%), pero en las zonas exteriores aumenta el porcentaje de bario frente al zinc (Figura 266). El bario podría estar relacionado con la presencia de baritina en los yacimientos de sulfuros metálicos de la zona, formando parte de la ganga de este tipo de yacimientos y por lo tanto formar parte importante de los vertidos de residuos de minería que ha recibido el puerto durante su larga historia. Las corrientes de fondo hacia el exterior de la bahía (Figura 14, apartado 6.3) podrían haber movilizad o estos residuos hacia la zona exterior.

Los valores de Cu son mayores en el interior de las dársenas (10-20 %), descendiendo en las zonas exteriores con la profundidad (8–12%), lo contrario ocurre con litio, cromo y níquel cuyo porcentaje es prácticamente cero en el interior de las dársenas y va aumentando hacia las zonas exteriores (5–8%) (Figura 266).

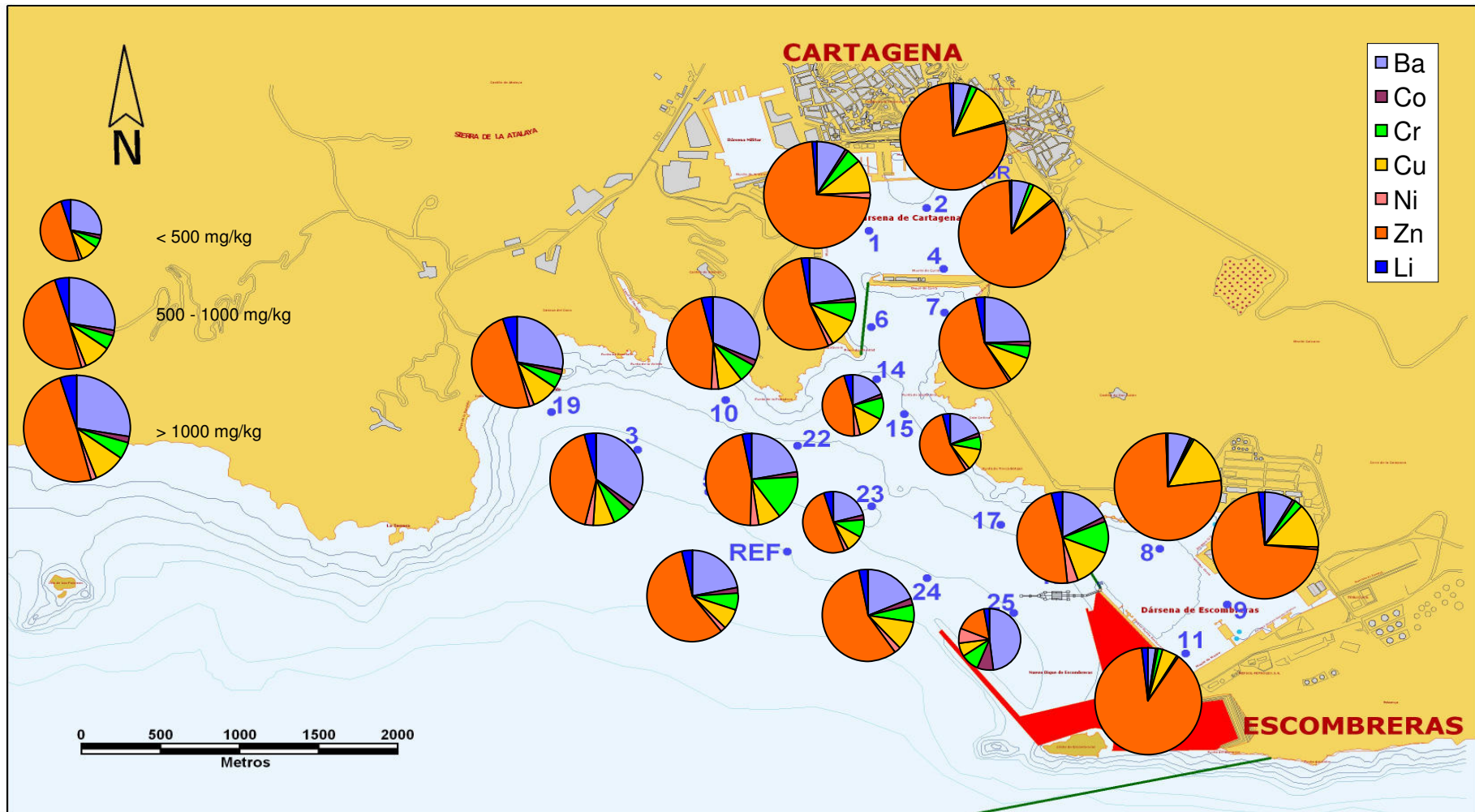


Figura 266. Porcentaje de metales pesados en las muestras de sedimentos correspondientes al 3º muestreo

Los resultados de metales pesados en el Puerto de Cartagena ponen de relieve que la totalidad del área de estudio puede considerarse como un sedimento altamente contaminado en mercurio, zinc, níquel y cromo (apartado 8.4.2), sin embargo esta evaluación se basa en la afección al ecosistema (Long y Morgan, 1991) es preciso adoptar un criterio de calidad que debería quedar reflejado en la legislación española para poder establecer una red de control operativa.

Los criterios de calidad adoptados por los países firmantes del Convenio OSPAR presentan cierta disparidad en su procedencia y fracción de muestra empleada (CEDEX, 2001). Los criterios de calidad de sedimentos adoptados en el citado convenio por España están referenciados a la fracción menor de 63 μm , en esta Tesis se realizó la determinación sobre fracción total (menor de 2 mm) método que es el de referencia para los criterios de calidad de Noruega que tienen el mismo orden de magnitud que los españoles (Tabla 26).

Niveles de acción	España		Noruega	
	1	2	1	2
Mercurio	0,6	3,0	0,6	3,0
Cadmio	1,0	5,0	1,0	5,0
Plomo	120	600	120	600
Zinc	500	3000	650	3000
Níquel	100	400	130	600
Arsénico	80	200	80	400
Cromo	200	1000	300	1500
Cobre	100	400	150	700

Tabla 26. Niveles de acción (mg/kg) recomendados en los sedimentos portuarios (CEDEX, 2001)

La denominación de “Niveles de Acción” se refiere a la aptitud de un sedimento dragado para ser vertido en aguas marinas. Una zona cuyos sedimentos superen el Nivel de Acción 1 no podrán ser vertidos al mar salvo que se realicen estudios de detalle que descarten la posibilidad de movilización del contaminante que supera dicho nivel. En caso de superarse el Nivel de Acción 2 el sedimento dragado no podrá en ningún caso ser vertido al mar (CEDEX, 2001).

En esta Tesis se han determinado 5 metales pesados en sedimentos para los cuales existen niveles de acción establecido (CEDEX, 2001).

- Mercurio (1º y 2º muestreo)
- Zinc (2, 3º y 4º muestreo)
- Níquel (2, 3º y 4º muestreo)
- Cobre (2, 3º y 4º muestreo)
- Cromo (2, 3º y 4º muestreo)

Se ha tenido en cuenta el valor de la media aritmética de las concentraciones determinadas para cada uno de los metales enumerados anteriormente, como se contempla en el RD 258/1989 por el que se establece la normativa general sobre vertido de sustancias peligrosas desde tierra al mar, para el establecimiento de valores de contaminantes en sedimentos.

Las concentraciones de mercurio en los sedimentos superan en todos los puntos el Nivel de Acción 1, llegando a superar el Nivel de Acción 2 (Tabla 26) en los puntos 1, 2, 4, 6, 8, 11, 14 y 15, puntos pertenecientes al interior de ambas dársenas y en el entorno de la dársena de Cartagena (Figura 267).

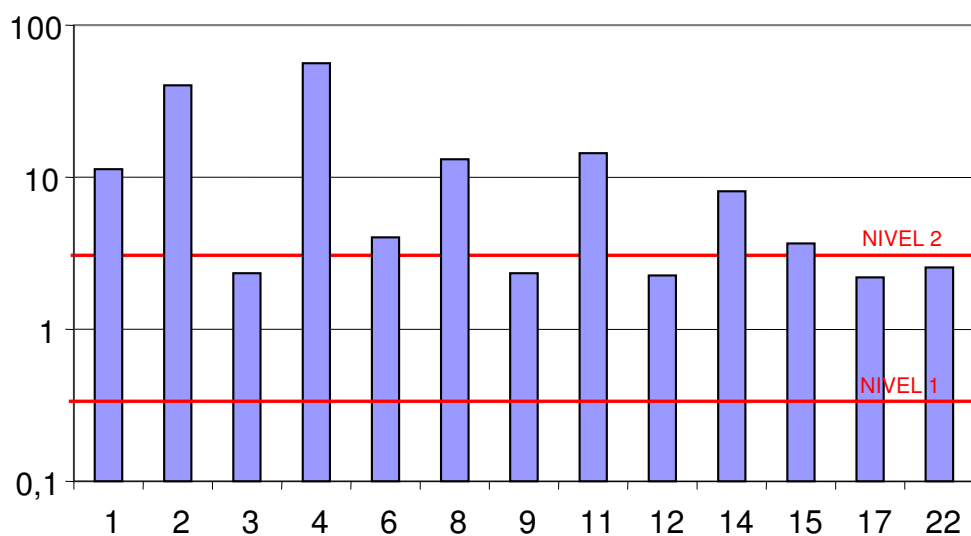


Figura 267. Concentración de Hg (mg/kg) en sedimentos (media anual)

Las concentraciones de zinc en los sedimentos superan el Nivel de Acción 1 en los puntos 1, 2, 4, 6, 8, 9 y 11, puntos pertenecientes al interior de ambas dársenas y entorno de la dársena de Cartagena, llegando a superar el Nivel de Acción 2 (Tabla 26) en el punto 9 perteneciente a la dársena de Escombreras (Figura 268).

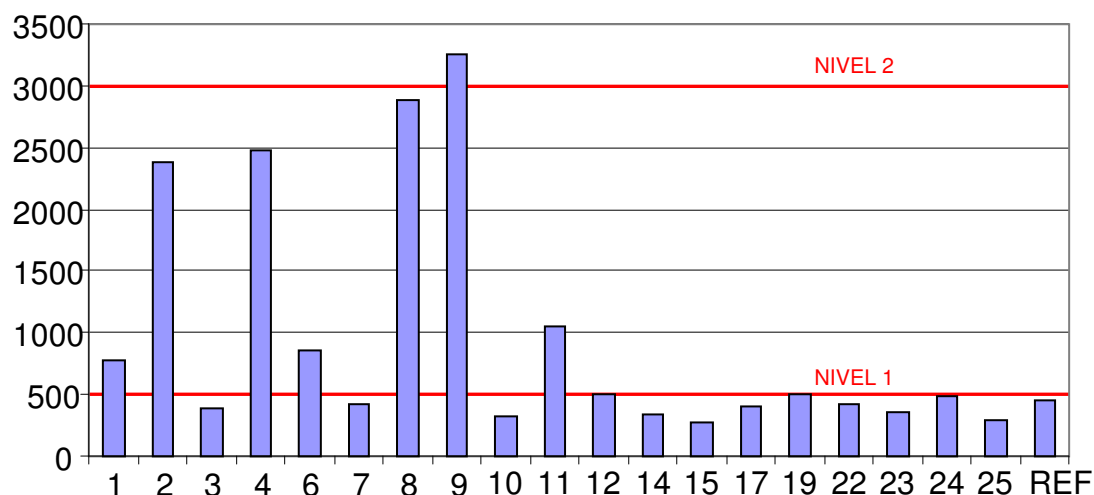


Figura 268. Concentración de Zinc (mg/kg) en sedimentos (media anual)

Las concentraciones de níquel en los sedimentos no superan el Nivel de Acción 1 (100 mg/kg). El punto 25 es el que presenta la mayor concentración (28 mg/kg) (Figura 269).

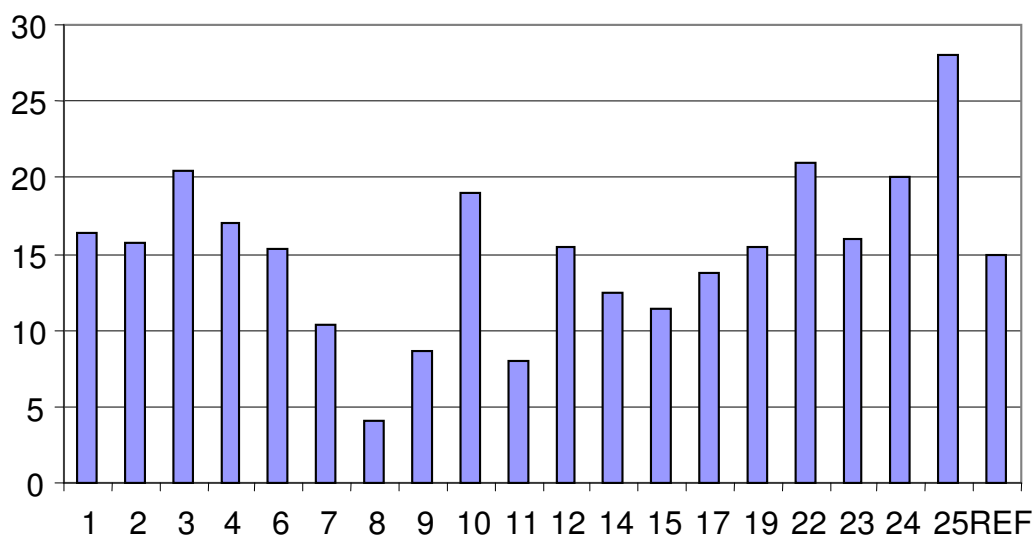


Figura 269. Concentración de níquel (mg/kg) en sedimentos (media anual)

Las concentraciones de cobre en los sedimentos superan el Nivel de Acción 1 en los puntos 1, 2, 4, 6, 8, 9, 11, 12 y 17, puntos pertenecientes al interior de ambas dársenas y su entorno próximo, llegando a superar el Nivel de Acción 2 (Tabla 26) en el punto 8 perteneciente a la dársena de Escombreras (Figura 270).

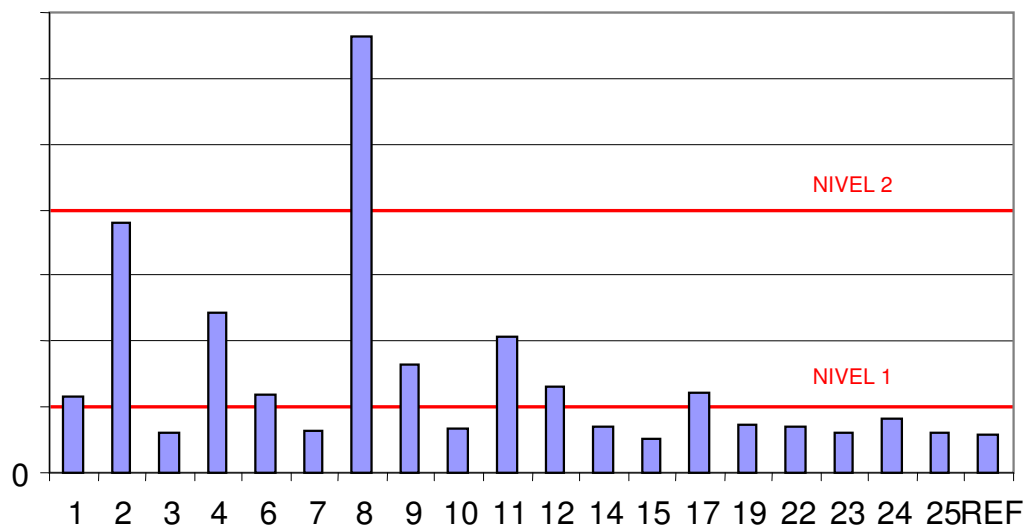


Figura 270. Concentración de Cobre (mg/kg) en sedimentos (media anual)

Las concentraciones de cromo en los sedimentos no superan el Nivel de Acción 1 (200 mg/kg). El punto 22 es el que presenta la mayor concentración (96 mg/kg) (Figura 271).

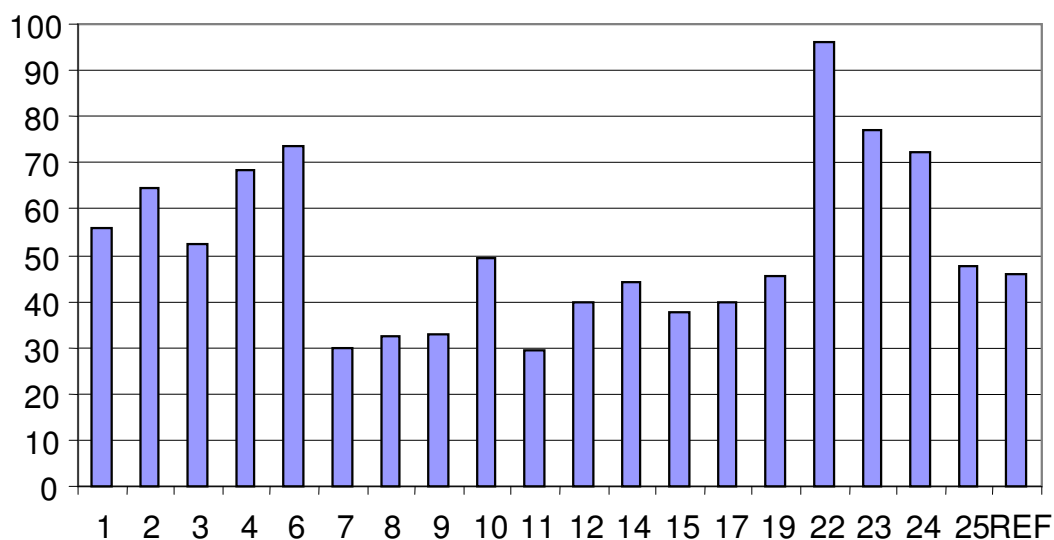


Figura 271. Concentración de Cromo (mg/kg) en sedimentos (media anual)

Las concentraciones de cromo y níquel están por debajo del Nivel de Acción 1, mientras que las concentraciones de cobre y zinc superan el Nivel de Acción 1 en los puntos correspondientes al interior y proximidades de ambas dársenas y puntualmente el Nivel de Acción 2. En el caso del mercurio, se supera el Nivel de Acción 2 en ambas dársenas. Luego los sedimentos del interior de las dársenas no podrían ser vertidos al mar en ningún caso.

Para establecer los objetivos de calidad de los sedimentos en la zona de estudio se ha tenido en cuenta el Real Decreto 258/1989, que determina en su Anexo I, sección A, puntos 3 y 5, que deben calcularse en base a la media aritmética de los valores anuales (para las sustancias de las lista I y II del Anexo II de este Real Decreto), y compararse con los valores medidos en campañas anteriores, no debiendo exceder un incremento del 50% anual sobre los mismos.

En esta Tesis se han considerado los valores medios anuales de campañas anteriores a partir de los sedimentos caracterizados en la red de control de la Junta de Comunidades de Murcia (JCM) para 2003, en los puntos coincidentes con los de esta Tesis (Tabla 27). Dado que en la red de control de la JCM no se analizaron PAH's, únicamente se realizará el establecimiento de objetivos de calidad para metales pesados en sedimentos.

Punto de la Tesis	Muestra JCM	ZONA	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
1	24CAP	Dársena de Cartagena (Masa 1)	180	15,4	0,05	8,73	2268
2	21CAP						
4	22CAP						
SR	23CAP						
8	18CAP	Dársena de Escombreras (Masa 3)	129	8,60	0,06	7,25	1587
9	17CAP						
25	16CAC						
14	20CAP	Exterior de las dársenas (Masas 2 y 4)	42,1	2,88	0,06	5,43	595
17	19CAV						
REF	28CAC						

Tabla 27. Concentración de metales (mg/kg) de la red de control de la Junta de Comunidades de Murcia (JCM) en la campaña 2003 para los puntos coincidentes con esta Tesis.

Los valores límite considerados como objetivo de calidad, para cada metal pesado, son los correspondientes a los recogidos en la Tabla 27 más el 50% de cada valor, como determina el RD 258/1989 (Tabla 28).

Punto de la Tesis	Muestra JCM	ZONA	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
1	24CAP	Dársena de Cartagena (Masa 1)	270	23,1	0,08	13,1	3402
2	21CAP						
4	22CAP						
SR	23CAP						
8	18CAP	Dársena de Escombreras (Masa 3)	194	12,9	0,09	10,9	2380
9	17CAP						
25	16CAC						
14	20CAP	Exterior de las dársenas (Masas 2 y 4)	6,32	4,32	0,09	8,14	892
17	19CAV						
REF	28CAC						

Tabla 28. Concentraciones límite calculadas para el cumplimiento de objetivos de calidad de metales (mg/kg) según RD 258/1989.

Se han calculado conjuntamente los objetivos de calidad de sedimentos en las Masas 2 y 4 debido a que la red de muestreo de la JCM no contaba con puntos suficientes en la Masa 4 y en metales pesados en sedimentos su comportamiento es similar a la Masa 2 (ver apartado 8.4.2).

Se representan las medias aritméticas anuales (Figuras 272 a 276) de los valores de mercurio, cobre, cromo, zinc y níquel medidos en cada punto, junto con el promedio para las diferentes masas de agua definidas, para determinar si se alcanzan los objetivos de calidad para cada metal.

Las concentraciones de mercurio de los sedimentos del Puerto de Cartagena son muy superiores a los objetivos de calidad en todas las zonas (Tabla 28, Figura 272),

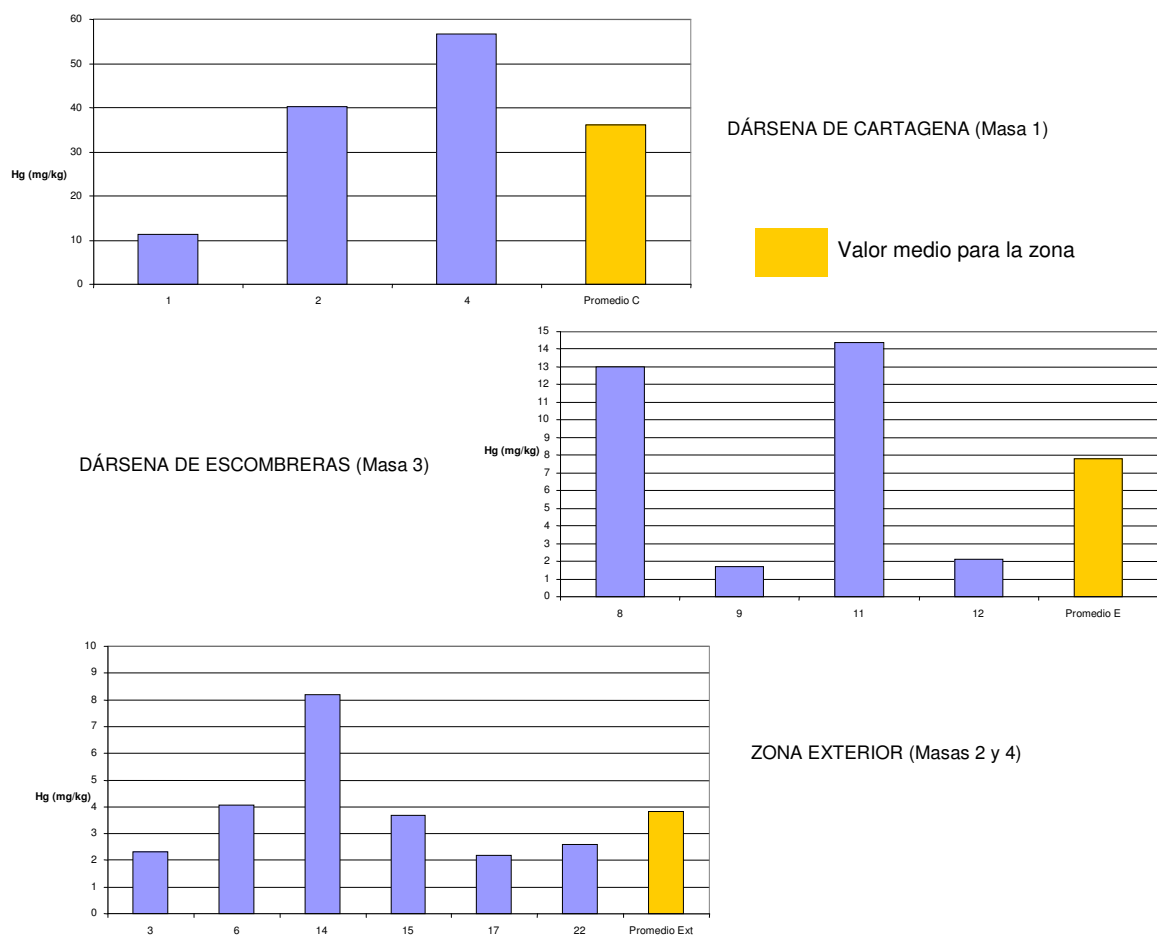


Figura 272. Concentración media de mercurio (mg/kg) de las muestras de sedimentos

En el caso del zinc se superan los objetivos de calidad (Tabla 28) en los puntos 8 (dársena de Escombreras) y 6 (zona exterior, Masas 2 y 4), pero los promedios de las zonas consideradas no los superan (Figura 273).

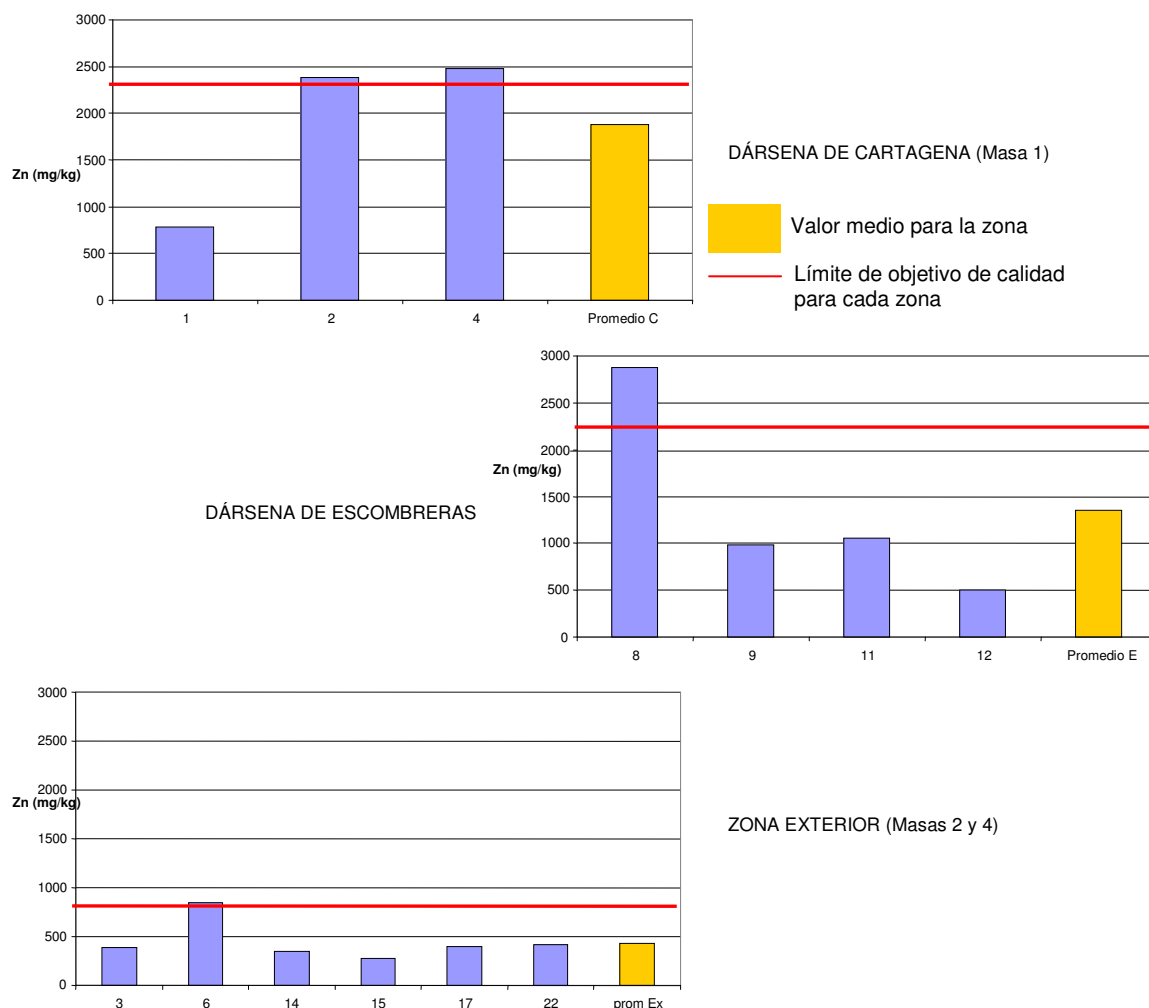


Figura 273. Concentración media de zinc (mg/kg) de las muestras de sedimentos

Tanto la dársena de Cartagena como la zona exterior superan ampliamente el objetivo de calidad (Tabla 28) para níquel. La dársena de Escombreras solo lo supera de manera puntual en el punto 12 (Figura 274).

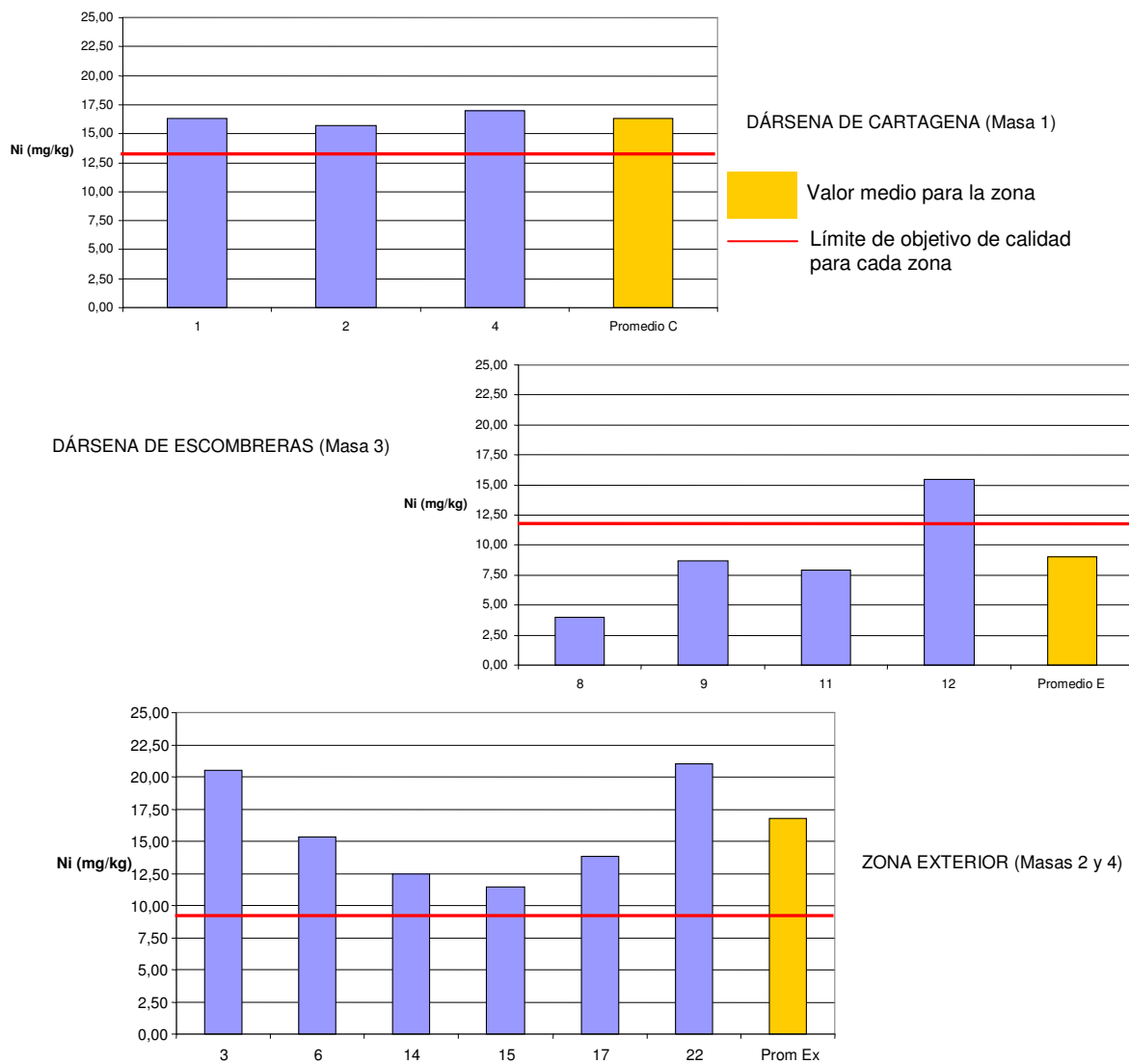


Figura 274. Concentración media de níquel (mg/kg) de las muestras de sedimentos

La dársena de Escombreras es la que supera el objetivo de calidad fijado para cobre (Tabla 28), aunque la zona exterior tiene un valor promedio prácticamente en el límite. En la dársena de Cartagena únicamente el punto 2 lo supera (Figura 275).

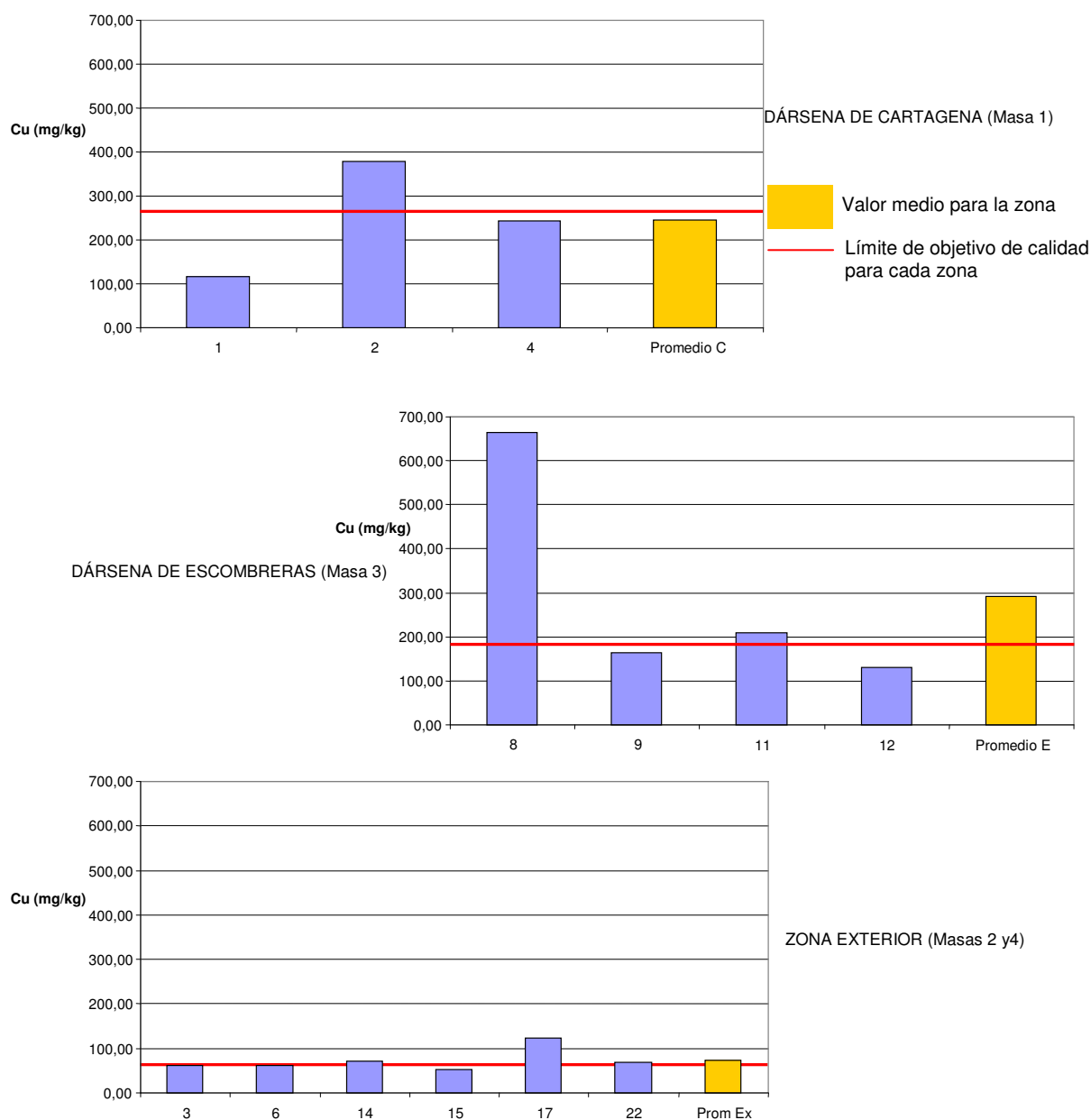


Figura 275. Concentración media de cobre (mg/kg) de las muestras de sedimentos

Los valores de cromo de todas las zonas superan el objetivo de calidad (Tabla 27, Figura 276).

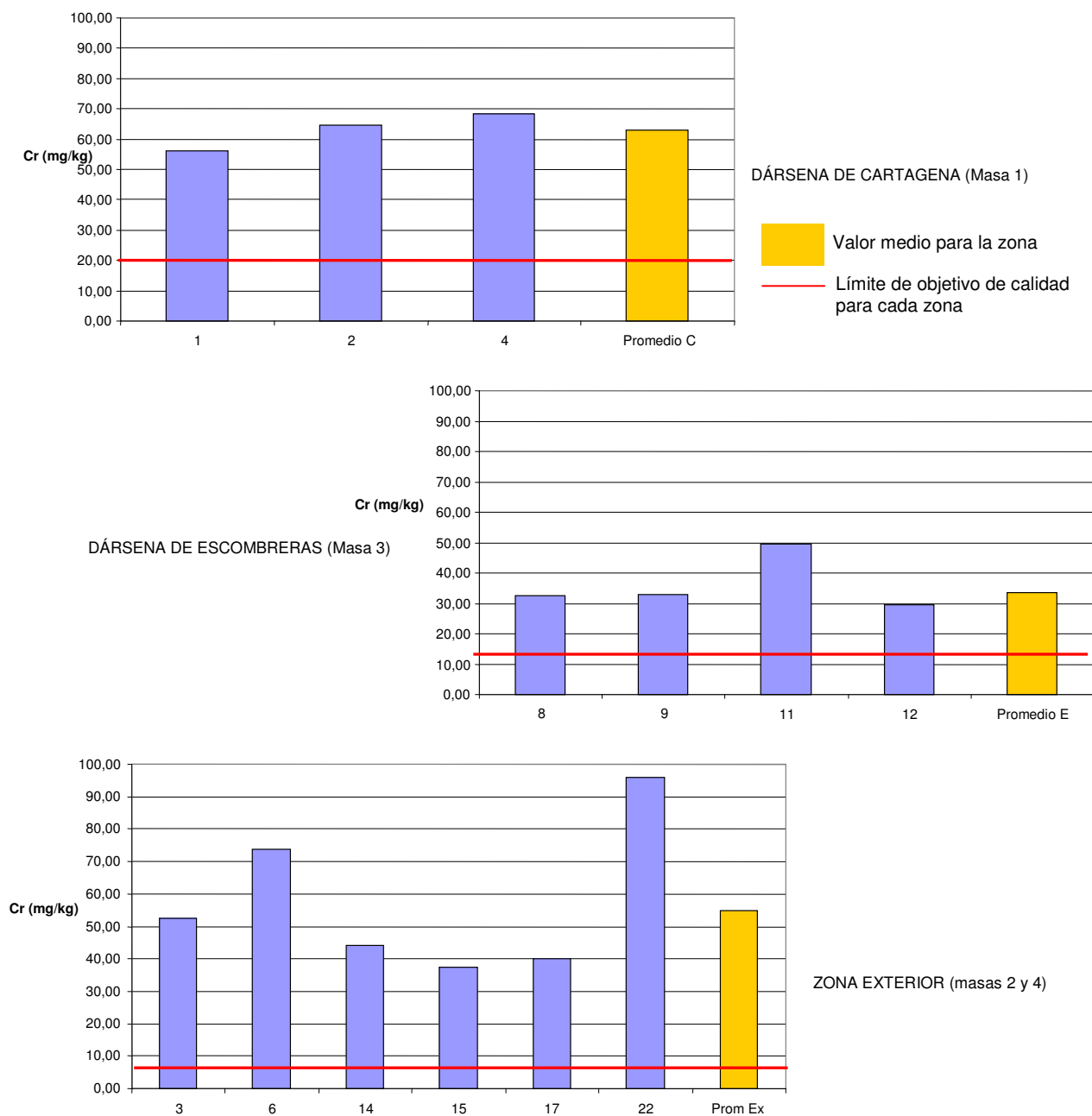


Figura 276. Concentración media de cromo (mg/kg) de las muestras de sedimentos

Todas las masas de agua definidas en la zona de estudio superan los objetivos de calidad para sedimentos en alguno de los metales pesados analizados (Tabla 29) lo que significa que se debería restringir el vertido de estas sustancias en el Puerto de Cartagena.

Contaminante	Masa 1	Masa 2	Masa 3	Masa 4
Mercurio	X	X	X	X
Zinc	-	-	-	-
Níquel	X	-	X	X
Cobre	-	X	-	-
Cromo	X	X	X	X

Tabla 29. Contaminantes en los que cada masa de agua supera los objetivos de calidad definidos en la Tabla 28

Las Masas 1, 3 y 4 superan los objetivos de calidad de sedimentos para los mismos parámetros (mercurio, níquel y cromo), mientras que la Masa 2 lo hace para mercurio, cobre y cromo (Tabla 29).

Relacionando este resultado para los sedimentos con el obtenido para aguas (apartado 9.2) donde se superan los objetivos de calidad de mercurio, cobre y zinc, estos tres metales deben ser debidamente incorporados a la red de control, como por otra parte ya determinaba el resultado del ACP en los Factores 3 (cobre y plomo) y 5 (potencial Redox y zinc).

Por otra parte y según lo descrito en base a los Niveles de Acción (CEDEX, 2001) las concentraciones de cromo y níquel están por debajo del Nivel de Acción 1, mientras que las concentraciones de cobre y zinc superan el Nivel de Acción 1 en ambas dársenas. Las concentraciones de mercurio superan el Nivel de Acción 2 en ambas dársenas.

9.3.2. PAH's

Existen pocas referencias para comparar los niveles obtenidos de PAH's en sedimentos y la calidad de estos. El estudio de materiales dragados basándose en 6 PAH's de Borneff y 16 de la EPA (CEDEX, 2001) realizó la determinación en 14 zonas portuarias españolas recomendando como Niveles de Acción (similares a los descritos en el apartado 9.3.1.) los siguientes (Tabla 30):

Niveles de acción	1	2
Borneff 6	1 mg/kg	3 mg/kg
EPA 16	2 mg/kg	6 mg/kg

Tabla 30. Niveles de acción recomendados en los sedimentos portuarios españoles (CEDEX, 2001)

En este estudio se han determinado 10 de los PAH's pertenecientes a los 16 compuestos contemplados por la EPA (CEDEX, 2001). Para poder determinar el nivel de referencia en que se encuentran los sedimentos en el puerto de Cartagena, se seleccionaron los seis compuestos mayoritarios en las muestras (Tabla 20 y 21, Anexo II): Pireno, Fluoranteno, Criseno, Antraceno, Benzo (g, h, i) perileno y Acenaftileno. La suma de sus concentraciones (PAH's 6) (Figuras 277 y 278) se compara con el nivel de referencia establecido en base a 6 PAH's por Borneff (CEDEX, 2001) (Tabla 30).

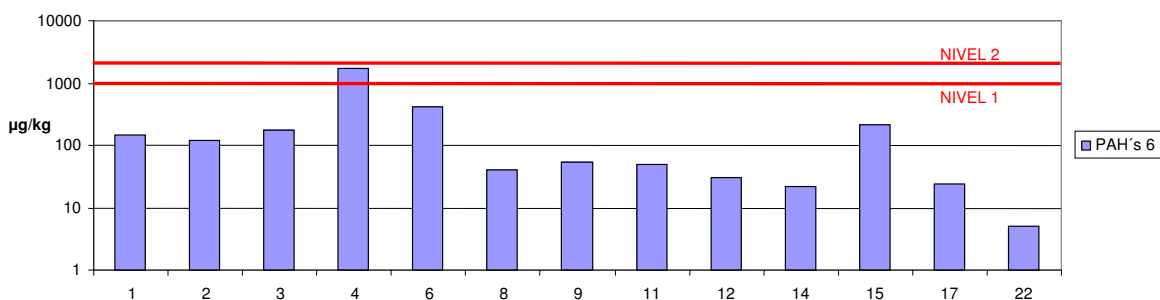


Figura 277. PAH's 6 en sedimentos (µg/kg) durante el 1º muestreo (escala logarítmica)

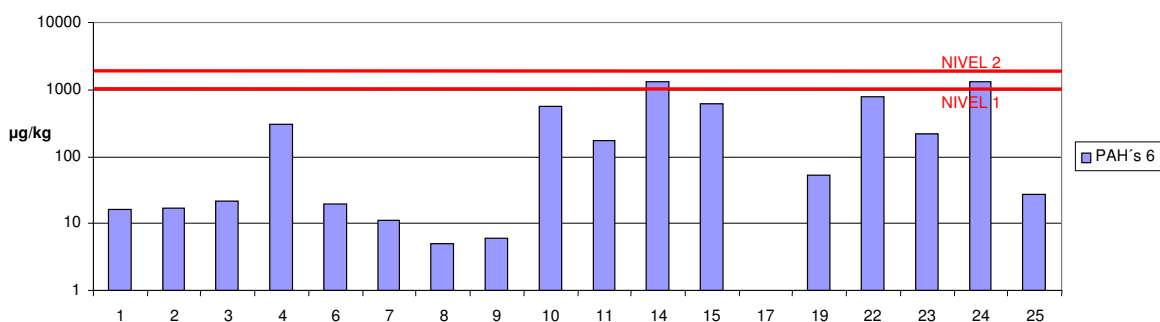


Figura 278. PAH's 6 en sedimentos (µg/kg) durante el 3º muestreo (escala logarítmica)

Se aprecia que en general en ambos muestreos las concentraciones están por debajo del Nivel de Acción 1 (Tabla 30, Figuras 277 y 278), pero existen muestras puntuales que lo superan sin llegar al Nivel de Acción 2 (1º muestreo-punto 4; 3º muestreo-puntos 14 y 24) (Figuras 277 y 278).

Las muestras con menor concentración de PAH's (puntos 8 y 17, 3º muestreo) únicamente tienen presentes tres compuestos (antraceno, acenaftileno y benzo (g, h, i) perileno). Las muestras con mayores concentraciones (puntos 14 y 24) incluyen en su composición todos los PAH's analizados, siendo mayoritarios criseno y fluoranteno (Figura 279). En todos los casos las muestras son mezclas de hidrocarburos aromáticos de bajo y alto peso molecular, como denota la presencia conjunta de benzo (g, h, i) perileno, antraceno y fluoranteno (Figura 279).

Comparando los valores de C/N (Figura 280, Tablas 18 y 19, Anexo II) con los valores de concentraciones de PAH's (Figura 279 y Tablas 20 y 21, Anexo II) se observa que las muestras que presentan valores elevados en ambos parámetros son comunes en ambos casos (Figuras 279 y 280) puntos 11, 14, 15, 22 y 23, estos puntos pertenecen a la zona de transición (Masa 4, puntos 14 y 15), a la zona exterior (Masa 2, puntos 22 y 23) y a la dársena de Escombreras (Masa 3, punto 11).

Si estos sedimentos fuesen material a dragar, podrían ser vertidos al mar, tras una evaluación más detallada, al superar el Nivel de Acción 1 para metales y PAH's (CEDEX, 2001).

Los puntos 1, 2, 4, 8, 9, 11, 14 y 15 (Masas 1, 3 y 4) superan el Nivel de Acción 2 para metales (mercurio, zinc y cobre) considerándose entonces inadecuados para su vertido al mar (CEDEX, 2001).

Los objetivos de calidad establecidos, considerando el RD 258/1989, para los sedimentos son superados en mercurio y cromo en toda el área portuaria. Las concentraciones de níquel y cobre superan los objetivos de calidad en el interior de las dársenas. Las concentraciones de zinc son las únicas que se mantienen por debajo del límite fijado por los objetivos de calidad calculados.

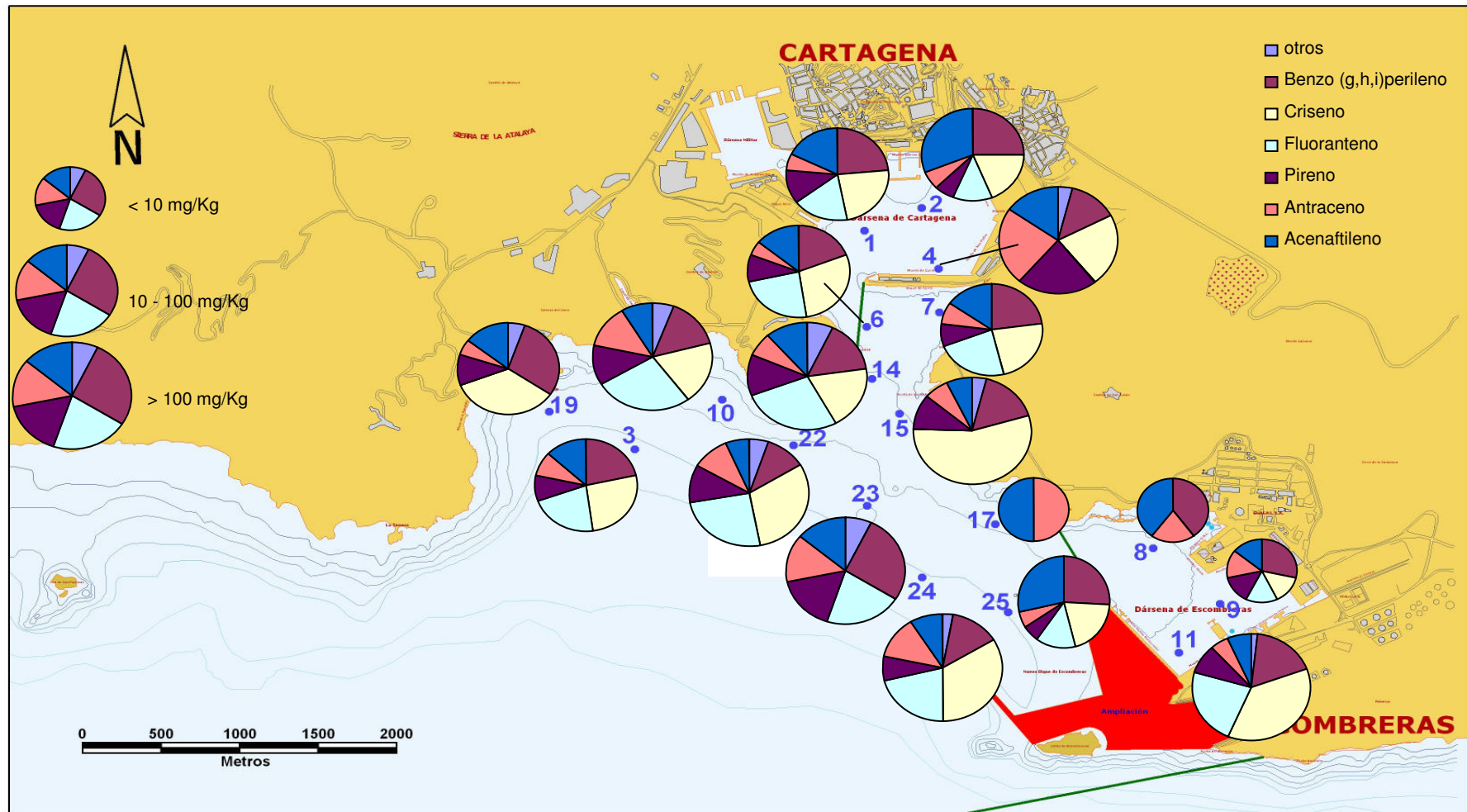


Figura 279. Composición de PAH's (mg/kg) de las muestras de sedimentos correspondientes al 3º muestreo

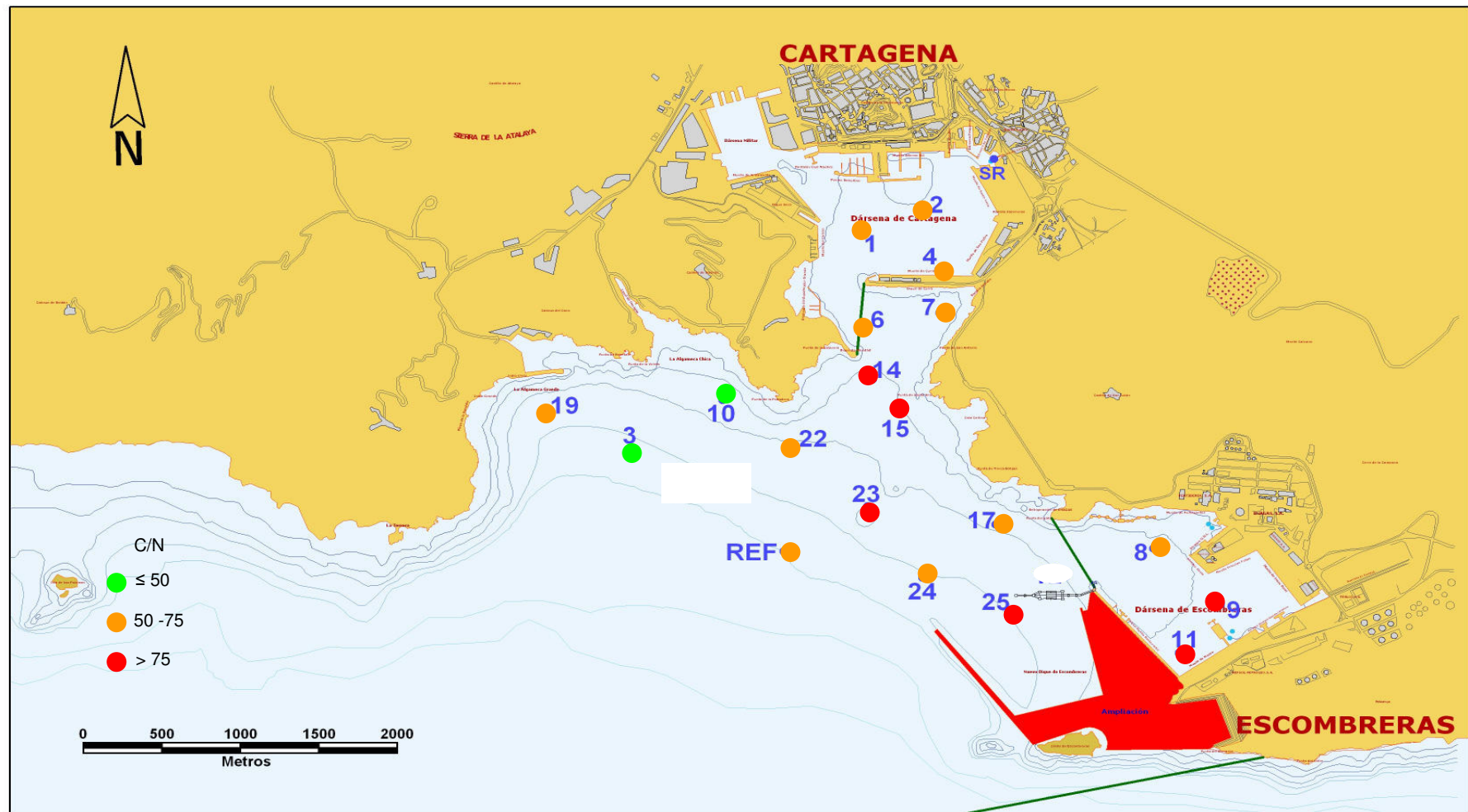


Figura 280. Relación C/N de las muestras de sedimentos correspondientes al 3º muestreo

10. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas en esta Tesis contestan a los objetivos planteados:

- Determinación de la calidad del agua en el área de servicio portuaria de Cartagena, dársenas de Cartagena y Escombreras.
- Correlación de los parámetros de calidad estudiados al objeto de seleccionar aquellos de mayor relevancia.
- Establecimiento de las bases científicas para una red de control operativa.
- Estado de calidad actual y propuesta de medidas de mejora.

10.1. Selección de la zona de Estudio

El puerto de Cartagena con más de 2000 años de historia, con un importante asentamiento de la minería de sulfuros metálicos, industrias petroquímicas y otras actividades como pesca, turismo, etc., plantea un escenario complejo para llevar a cabo la caracterización de los impactos sobre la calidad de las aguas en la Zona de Servicio Portuaria.

El puerto de Cartagena se divide, en una primera aproximación, en tres zonas atendiendo al grado de confinamiento de las aguas, siguiendo la metodología del documento ROM 5.1-05 (Puertos del Estado, 2005): dársena de Cartagena, dársena de Escombreras y zona exterior.

La dársena de Cartagena ha tenido un desarrollo histórico desde dársena principal donde se asentaban todas las actividades del puerto (pesca, carga de mineral, extracción y lavado de mineral, astilleros, etc.), hasta el momento actual donde se centra en actividades pesqueras y relacionadas con el ocio, aunque en su zona oeste permanecen los astilleros. En esta dársena desembocan multitud de pequeñas ramblas y recogidas de pluviales de la ciudad.

En la dársena de Escombreras se ubican las actividades industriales relacionadas con el refinado de petróleo, producción de energía e industrias químicas en general, esta dársena es la que presenta un riesgo mayor de vertidos industriales, tanto desde tierra como desde los buques que atracan en ella.

La zona exterior presenta como punto principal de posibles emisiones los fondeaderos exteriores, sin embargo no se debe olvidar la zona de la Algameca donde está el canal de desagüe que recibe los vertidos de las instalaciones militares.

10.2. Selección de los parámetros de calidad de mayor relevancia

La Directiva Marco del Agua (DMA) 2000/60/CE recoge la metodología para la caracterización de las aguas costeras mediante el establecimiento de los indicadores a utilizar. De acuerdo con esto las aguas de la Zona de Servicio Marítimo Portuaria tendrían la categoría de “masa de agua superficial muy modificada, asimilable a agua costera” (DMA 2000/60/CE; anexo II, punto 1.1.). De la consideración de esta tipología se deriva la metodología empleada en esta Tesis.

La aplicación del análisis multivariante como Análisis de Componentes Principales (ACP) permite establecer una clasificación de los parámetros analizados obteniendo cinco factores integrados por aquellos parámetros con relaciones determinantes sobre las características de la muestra, los cinco factores obtenidos son:

- Factor 1: temperatura, C.E., bicarbonatos, sodio, oxígeno disuelto
- Factor 2: salinidad y cloruros
- Factor 3: plomo y cobre
- Factor 4: nitritos y amonio
- Factor 5: potencial Redox y zinc

El análisis de estos factores mediante el método de conglomerados en dos fases permite agrupar las muestras en base a los valores de los parámetros analizados y agrupados en los cinco factores definidos. Se obtienen así cinco conglomerados o agrupaciones de muestras significativas.

El cruce de la información derivada del ACP con los conglomerados definidos se obtiene una división de la Zona de Servicio Portuario en 4 áreas ó masas de agua. Cada una de estas masas de agua presenta unos parámetros definitorios:

- Masa 1: dársena de Cartagena (T^a , C.E., bicarbonatos, sodio, oxígeno, cloruros, salinidad, cobre y plomo)
- Masa 2: zona exterior (T^a , C.E., bicarbonatos, sodio, oxígeno, cloruros, salinidad, nitritos y amonio)
- Masa 3: dársena de Escombreras (T^a , C.E., bicarbonatos, sodio, oxígeno, cloruros, salinidad, nitritos, amonio, cobre y plomo)
- Masa 4: zona de transición (T^a , C.E., bicarbonatos, sodio, oxígeno, cloruros, salinidad, nitritos, amonio, cobre y plomo)

Frente a la clasificación propuesta por el documento ROM 5.1-05 donde se obtenían tres masas de agua en función de su grado de confinamiento en las infraestructuras portuarias (diques), los límites de cada masa de agua se establecen por su situación respecto de las infraestructuras portuarias, en esta Tesis se obtienen cuatro masas de agua con una delimitación clara del alcance de la zona en base a sus parámetros analíticos definitorios, no limitada a las infraestructuras, que en ocasiones pueden ser coincidentes, como en el caso de la dársena de Cartagena (Masa 1), y en otras no, como en el caso de la dársena de Escombreras (Masa 3).

10.3. Descripción de las Variaciones Observadas en las Masas de Agua

El tratamiento estadístico de los valores obtenidos para los parámetros analizados no permite la entrada de algunos parámetros en el análisis que sin embargo tienen importancia en la caracterización del área de estudio como son: clorofila A y otros iones mayoritarios, pero su evolución espacial y temporal y sus interrelaciones permiten mejorar el diseño de la red de control.

Existen relaciones entre los parámetros físico-químicos determinados “in situ”, siendo las variaciones estacionales de temperatura las que definen el comportamiento de los mismos. El aumento de la temperatura ambiente en el 3º muestreo genera la formación de una termoclina a diferente profundidad, en función de la profundidad total de cada zona, así en las Masas 1, 3 y 4 la termoclina queda definida a 5 m, mientras que en la Masa 2 lo hace a partir de 10 m. La duración de esta termoclina también es diferente en función de la profundidad máxima, las Masas 1, 3 y 4 únicamente la presentan en el 3º muestreo, mientras que en la Masa 2 permanece hasta el 4º muestreo.

La temperatura está además relacionada de forma directa con la C.E. e inversamente con los valores de clorofila A que presentan sus máximos en el 2º muestreo coincidiendo con temperatura y pH menores.

La clorofila A presenta por lo tanto una relación inversa con el pH ya que también cuando este parámetro alcanza sus valores máximos, se alcanzan los mínimos de clorofila A (4º muestreo). Así mismo tiene una relación directa con la turbidez entre superficie y 5 m, relación que desaparece a mayores profundidades.

Las relaciones existentes entre los iones mayoritarios no parecen poder extrapolarse a la totalidad del área de estudio, están limitadas a cada una de las masas de agua definidas. En la Masa 1 y 3 las concentraciones de magnesio siguen una tendencia común con las concentraciones de calcio, y este con las de carbonatos.

En la Masa 2 las concentraciones de magnesio siguen una tendencia común con las de sulfatos, esto unido a que en la propia Masa 2 es donde claramente las concentraciones de sodio se relacionan con las de cloruros, dos características típicas de las aguas marinas (Millero, 2006), parece indicar que en el interior de las dársenas (Masas 1 y 3) debido a diferentes procesos (evaporación, descarga de aguas continentales, vertidos, etc.) las características generales de las aguas difieren de las típicas de aguas marinas.

En general es el pH el parámetro que ejerce control sobre todos los metales pesados, a excepción del mercurio, de manera que ante ascensos de pH, como los del 4º muestreo, las concentraciones de metales en el agua disminuyen.

Los valores de clorofila A tienen en las Masas 1 y 3, relaciones con las concentraciones de hierro, zinc y cobre, el aumento de clorofila A va acompañado del aumento de estos metales, este efecto es más evidente en el 2º muestreo, coincidiendo con los mayores valores de clorofila A.

Los metales pesados presentan tendencias contrarias en las Masas 1 y 3 frente a las Masas 2 y 4; así en estas últimas mercurio, hierro, cobre y cadmio tienen igual comportamiento, mientras en las Masas 1 y 3 el mercurio tiene tendencia opuesta al resto.

Se observa como los menores valores de fosfatos corresponden al 2º muestreo, coincidiendo con el máximo de clorofila A. Los valores máximos corresponden al 1º muestreo en las proximidades de la Algameca y al 3º muestreo en la zona exterior (Masa 2). La media de fosfatos en la zona de estudio es de 0,08 mg/l de acuerdo con los valores óptimos en agua de mar (0 - 0,3 mg/l) (Kennish, 2000).

Amonio, nitritos y nitratos tienen una evolución temporal opuesta a la clorofila A, aumentando sus concentraciones en el medio cuando la clorofila A disminuye, lo cual es un perfil propio de los nutrientes. Es en el 2º muestreo cuando mejor se aprecia esta relación, ya que las altas concentraciones de clorofila A, por tanto de producción de fitoplacton, consumen las especies nitrogenadas en mayor grado haciendo que sea patente la disminución.

Las concentraciones medias de amonio, nitritos y nitratos se mantienen dentro del rango habitual en aguas marinas (Millero, 2006).

En general en todas las zonas se superan los valores de fondo calculados para HCT y sobre todo durante el 4º muestreo, siendo la dársena de Cartagena la que presenta una mayor afección. Afección que pudiera derivarse de la existencia en esta dársena de la estación de abastecimiento de carburante a pequeñas embarcaciones (bomba de Santa Lucía).

10.4. Descripción de la Calidad de los Sedimentos en Relación con las Aguas

Los sedimentos de la zona de estudio tienen, en general, valores elevados de metales pesados en todas las masas de agua definidas, pudiendo considerarse sedimentos altamente contaminados (Long y Morgan, 1991) (Tabla 31).

Metal	Sedimentos no contaminados	Sedimentos moderadamente contaminados	Sedimentos altamente contaminados	Valor de fondo para la zona de estudio	Localización de valores máximos
Hg	< 0,15	0,15-1,3	> 1,3	2 - 4	Masa 1
Zn	< 120	120-270	> 270	250	Masa 1
Cu	< 70	70-390	> 390	50-100	Masa 3
Ni	< 0,15	-	-	10-15	Masas 1 y 2
Cr	< 80	80-145	145	25-50	Masas 1 y 2

Tabla 31. Clasificación de sedimentos marinos en función de su contenido en metales pesados (mg/kg) (Long y Morgan, 1991) y valores de los sedimentos del Puerto de Cartagena

Es la **dársena de Cartagena**, Masa 1, la zona que habitualmente presenta los valores máximos de metales pesados en sedimentos (Tabla 31).

Algunos parámetros aumentan su concentración en profundidad, aumento que puede estar relacionado con procesos de removilización desde el sedimento. Estos aumentos en profundidad son especialmente significativos para el caso de metales pesados.

La comparación de los valores de mercurio en las muestras de agua de mayor profundidad y los de sedimentos define ciertos puntos donde puede estar existiendo intercambio de este elemento entre ambos medios. En la Masa 1, dársena de Cartagena, se observa como elevadas concentraciones en agua a la profundidad máxima (10 m) se corresponde con bajas concentraciones en el sedimento (punto 1), mientras que bajas concentraciones en las aguas se corresponden con altas en el sedimento (punto 4) lo cual parece indicar la existencia de un área de deposición de este metal en las proximidades del punto 4 que se removiliza desde los sedimentos en el punto 1.

Valores de mercurio similares a los de la dársena de Cartagena (> 50 mg/kg) aparecen descritos en zonas afectadas por vertidos derivados de refinerías e industrias de cloro-álcali (Kennish, 2000). Dado que el punto 4 es el más próximo a las zonas de vertido industrial en la dársena de Cartagena, tanto actual como histórico, este punto estaría afectado por ellos, actuando como depósito temporal de este metal que se removilizaría después a la columna de agua en el punto 1.

En la **zona exterior**, Masa 2, aparece una tendencia anómala en las concentraciones de zinc y cobre del punto 17, donde los valores en profundidad son muy elevados en el 2º muestreo, este máximo coincide con elevados valores de zinc y cobre en los sedimentos durante el mismo muestreo. El punto 17 está en las proximidades del vertido de agua de refrigeración de ENAGAS, vertido que cae de forma torrencial sobre el mar, y que podría ser la causa de la removilización de estos metales desde los sedimentos.

En la **dársena de Escombreras**, Masa 3, se superan los objetivos de calidad para aguas en cobre y para sedimentos en mercurio, cromo, y cobre, aunque en el momento actual esta zona es de difícil evaluación debido a las operaciones de dragado y ampliación de la dársena que han llevado a cabo durante las campañas de muestreo.

En la **zona de transición**, Masa 4, aparecen altas concentraciones de mercurio en las muestras de aguas superficiales (punto 6) que descienden con la profundidad y son coincidentes con elevados valores en los sedimentos, parece que el punto 6 fuese un área de acumulación de mercurio en el sedimento.

Al igual que en el caso del mercurio, la zona de mayores concentraciones de zinc ($1000 - 4000$ mg/kg) se sitúan en la dársena de Cartagena. Los puntos con valores máximos de concentración de zinc en sedimentos en esta dársena coinciden con los máximos de este parámetro en aguas. Los valores de zinc habituales en sedimentos

de zonas costeras y de estuario suelen ser menores de 500 mg/kg (Kennish, 2000), valores tan elevados como de la dársena de Cartagena aparecen en zonas afectadas por vertidos de lodos de depuradoras y residuos de minería (2000 mg/kg) (Kennish, 2000).

Los objetivos de calidad para metales pesados en sedimentos, se superan en todas las masas de agua definidas en la zona de estudio (Tabla 32) por lo cual se debería restringir el vertido de estas sustancias en el Puerto de Cartagena.

Contaminante	Masa 1	Masa 2	Masa 3	Masa 4
Mercurio	X	X	X	X
Zinc	-	-	-	-
Níquel	X	-	X	X
Cobre	-	X	-	-
Cromo	X	X	X	X

Tabla 32. Contaminantes en los que cada masa de agua supera los objetivos de calidad definidos en la Tabla 28

Las concentraciones de PAH's obtenidas para el 3º muestreo muestran como la mayoría de los compuestos determinados aparecen por debajo de 50 µg/kg, a excepción de los puntos 10, 14, 15, 22, 23 y 24 donde las concentraciones superan los 100 µg/kg e incluso los 300 µg/kg en el caso del Pireno y Fluoranteno para los puntos 14, 22 y 24, todos ellos pertenecientes al exterior de las dársenas.

Parece apreciarse dos tipos de muestras, aquellas con valores muy elevados donde los compuestos mayoritarios son Pireno y Fluoranteno (puntos 10, 14, 22 y 24) y otras con valores menores donde los compuestos mayoritarios son Pireno, Antraceno y Acenaftileno (puntos 4, 15, 19 y 25). La aparición conjunta de PAH's de bajo y alto peso molecular hacen pensar que el origen de los mismos es una mezcla.

La evaluación de PAH's en sedimentos no resulta concluyente, así como los HCT en aguas parecen indicar un claro foco de origen, las altas concentraciones de PAH's afectan por igual a toda la zona de estudio, se recomienda la determinación anual de estos compuestos en sedimentos en base a la lista de 16 PAH's de la EPA (CEDEX, 2001) para determinar su origen y evolución en las diferentes masas de agua definidas.

10.5. Bases Científicas para el Establecimiento de una Red de Control Operativa

Para la realización de esta Tesis se llevó a cabo un diseño de red de control de acuerdo con el método descrito en la norma ISO 5667-1:1980 (AENOR, 1997) para definir tanto el tipo de muestra a obtener (perfiles verticales y horizontales), como su sistema de acceso (embarcación) y sistema de referencia (localización GPS), así como la periodicidad del muestreo (trimestral).

Se diseñó así una malla de muestreo compuesta por 21 puntos de muestreo y un punto de referencia (REF), en cada uno de estos puntos se tomaron muestras a diferentes profundidades (1, 5, 10, 20 y 40 m) obteniéndose un total de 264 muestras de agua y 69 de sedimentos.

La periodicidad del muestreo fue trimestral, realizándose un total de 4 muestreos que trataron de caracterizar las variaciones estacionales de la zona de estudio.

- 1º muestreo: diciembre 2003
- 2º muestreo: febrero 2004
- 3º muestreo: junio 2004
- 4º muestreo: octubre 2004

En cada una de las muestras de agua se determinaron 22 parámetros analíticos y en las de sedimentos se determinaron 11 parámetros analíticos.

A la vista de los resultados obtenidos y de las aplicaciones estadísticas empleadas la red de control puede reducirse a los parámetros más significativos para mejorar su operatividad.

La división del área de estudio en 4 masas de agua diferenciadas permite restringir el número de puntos de muestreo en cada una de ellas en función de la extensión de la masa de agua y de las variaciones espaciales y en profundidad de los parámetros analizados (Tabla 33).

Masa de agua	Nº de puntos de muestreo en la Tesis	Nº de puntos de muestreo de la red de control	Puntos seleccionados
Masa 1	4	2	1 y 4
Masa 2	7	3	REF, 17 y 24
Masa 3	5	2	8 y 25
Masa 4	6	2	6 y 10
TOTAL	22	9	9

Tabla 33. Número de puntos de muestreo necesarios para la red de control operativa

Se reduce de 22 a 9 puntos de control lo cual simplifica la logística de muestreo y permite una mejor adaptación a las condiciones del mar al acortar los tiempos de muestreo y uso de la embarcación.

Para cada masa de agua se han seleccionado aquellos puntos que han presentado una evolución más constante del conjunto de parámetros analizados, junto con aquellos que han mostrado variaciones anómalas en columna de agua y sedimentos.

El análisis factorial (ACP) permitió la selección de los parámetros analíticos determinantes de la calidad general de la zona de muestreo (13 parámetros), estos parámetros pueden dividirse en:

- Variables hidrodinámicas generales: temperatura, C.E., oxígeno disuelto, bicarbonatos, sodio, salinidad y cloruros (Factores 1 y 2).
- Variables relacionadas con vertidos industriales: cobre, plomo, zinc y potencial Redox (Factores 3 y 5).
- Variables relacionadas con vertidos urbanos: amonio, nitritos (Factor 4).

Se reducen los parámetros analíticos de 22 a 13, cinco de los cuales (temperatura, C.E., salinidad, oxígeno disuelto y potencial Redox) pueden ser determinados “in situ” mediante el uso de una sonda mutiparamétrica. Otros cinco son sustancias prioritarias (amonio, nitritos, cobre, plomo y zinc) (RD 258/1989) cuyos objetivos de calidad están siendo estudiados para su inclusión en la legislación española (Ministerio de Medio Ambiente 2007) y que en la discusión de resultados de esta tesis demuestran ser uno de los principales problemas de contaminación. Los tres restantes (cloruros, sodio y bicarbonatos) son iones mayoritarios característicos de las aguas marinas cuya alteración aporta información sobre el grado de calidad de la masa de agua.

Se propone además la inclusión, al margen de los resultados del ACP, de mercurio y clorofila A, con lo que los parámetros a controlar en aguas serían 15.

La toma de sedimentos debe ser conjunta a la de aguas y los parámetros a determinar serán zinc, por ser un valor elevado en la zona, mercurio y cobre por superar los objetivos de calidad en toda la zona y PAH's, recomendando la determinación de la lista de 16 PAH's.

Respecto a la periodicidad de la toma de muestras, la determinación del periodo de formación de la termoclina, mediante el análisis de variación de temperatura con la profundidad y de otros parámetros analíticos, fisico-químicos e iones mayoritarios permite establecer una diferenciación estacional clara entre los cuatro muestreos realizados, así 1º y 2º muestreo no presentan formación de termoclina y tienen un comportamiento similar en la mayoría de los parámetros fisico-químicos e iones mayoritarios analizados, mientras que 3º y 4º muestreo presentan formación de termoclina de manera diferenciada para las masas de aguas poco profundas (Masas 1 y 3, 3º muestreo) y las aguas profundas (Masa 2, 3º y 4º muestreo).

Puede por lo tanto restringirse la periodicidad de muestreo de trimestral a semestral, 1º y 3º muestreo, caracterizándose así las temporadas de invierno y verano.

La obtención en esta Tesis de la matriz de correlación para los parámetros analíticos seleccionados permite una evaluación de los resultados de la red de muestreo prácticamente automática. La introducción de las muestras obtenidas en la matriz permite su representación gráfica en cada masa de agua respecto de lo que se ha definido como “calidad general” (CG) y mala calidad (MA y MB). La posición relativa de cada muestra respecto a estos puntos y los ejes correspondientes a cada Factor representado permiten clasificar el estado de la masa de agua de manera sencilla y observar su evolución temporal.

Se obtienen por tanto las bases científicas para el diseño de una red de control operativa que permita evaluar el estado de calidad de la columna de agua en la zona de servicio portuario y su evolución facilitando la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes en cada caso, priorizando acciones tendentes a la mejora de la calidad de las aguas en la Zona de Servicio Portuario.

10.6. Estado de calidad actual y propuesta de medidas de mejora

Existen diferentes medios de evaluar la calidad de una masa de agua generalmente basados en la aplicación de la legislación al caso, sin embargo la legislación normalmente fija límites concretos para sustancias consideradas contaminantes (RD 258/1989; CEDEX, 2001 y Ministerio de Medio Ambiente, 2007) pero no para otros parámetros que son característicos de cada zona.

En esta Tesis a partir de la matriz de las correlaciones de los parámetros analíticos, mediante los 5 factores obtenidos en el ACP, se ha determinado la calidad general para cada una de las masas de agua definidas en base a los valores medios de los parámetros analíticos que integran los factores. Se ha obtenido una aplicación de sencillo manejo mediante la cual por una parte queda definida la calidad de cada una de las muestras tomadas y por otra permite la introducción de nuevas muestras que quedarán clasificadas en función de su posición relativa respecto de la “calidad general”.

La mayoría de las muestras analizadas entran en la definición de “calidad general” de cada una de las masas de agua definidas, únicamente algunos puntos se salen de esta clasificación, lo que permite establecer anomalías y procesos de contaminación por vertidos o actividades antropogénicas para cada una de las masas de agua.

Se superan los valores objetivo de calidad para mercurio y cobre en aguas y sedimentos sustancias que por lo tanto deben ser objeto de restricciones en el vertido en el Puerto de Cartagena.

Las Masas 1, 3 y 4 superan los objetivos de calidad de sedimentos para mercurio, níquel y cromo, mientras que la Masa 2 lo hace para mercurio, cobre y cromo. Relacionando este resultado para los sedimentos con el obtenido para aguas al menos la medida de mercurio debe ser incorporada a la red de control ya que el cobre quedaba incorporado en el resultado del ACP, en el Factor 3 (cobre y plomo).

Se proponen como medidas de mejora el control y seguimiento de los puntos indicados en la red de control para los parámetros establecidos como significativos y la comparación de los resultados obtenidos con los presentados en esta Tesis con la finalidad de evaluar su evolución que ha de ser tendente a la integración de la totalidad de la Zona de Servicio Portuario dentro de la categoría de “calidad general” aquí descrita.

Por último se considera necesaria la aprobación de normas objetivas con las cuales poder comparar los estudios de calidad tanto de aguas como de sedimentos en zonas marinas.

11. BIBLIOGRAFÍA

- ♦ Acosta, J.A.; Martínez-Martínez, S.; Faz, A.; Van Mourik, J.M.; Mermut, A.R. y Verstraten, J.M. 2005. "Heavy Metal Distribution in Soils of Cartagena, SE Spain". En *Sustainable Use and Management of Soils – Arid and Semiarid Regions*. Advances in Geoecology 36. Ed. A. Faz Cano, R. Ortiz Silla y A. R. Mermut. Alemania. 407-420 pp.
- ♦ AENOR, 1997. "Calidad del Agua". Recopilación de Normas UNE. Medioambiente Tomo 1, 692 pp.
- ♦ ALATEC S.A. 1997. "Caracterización de Aguas y Sedimentos de la zona afectada por el proyecto de ampliación de la Dársena de Escombreras. Cartagena (Murcia)". Informe para la APC.
- ♦ Albaigés, J. y Bayona, J.M. 2003. "El Fuel". En *La Huella del Fuel. Ensayos sobre el "Prestige"*. Ed. Fundación Santiago Rey Fernández - de la Torre. La Coruña. 80 - 103 pp.
- ♦ Álvarez-Vázquez, R.; del Pino-Padrón, J.; Collado-Sánchez, C.; López-García, P.; Abelardo-González, A.; Gelado-Caballero, M.D.; Brizuela, L.; Hernández-Brito, J.; Hernández, A.; Moratinos, E.; Mora, J.I. y Melgar, L. 2006. "Diseño para la implantación de la ROM 5.1-05 en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife". En *EROM 01, Procedimiento Metodológico Participativo para la Canalización, Recogida y Difusión de Estudios y Análisis Técnico-Científicos sobre los Documentos del Programa ROM*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. 5.1 – 5.15 pp.
- ♦ Arquitectos e Ingenieros Consultores, S.A. 1997. "Estudio de Impacto Ambiental sobre el proyecto de ampliación de la dársena de Escombreras y recuperación de usos de la Bahía de Portman". Informe para la APC.
- ♦ Artegiani, A. 1995. "Temperature and Salinity Measurements of Seawater". Handbook of Method and Protocols in Mediterranean Targeted Project. En www.cetiis.fr/mtp/qaps.
- ♦ Autoridad Portuaria de Cartagena (APC). 2006. "Puerto de Cartagena. Memoria Anual 2006". En www.apc.es.
- ♦ Borja, A. 2006. "The new European Marine Strategy Directive: Difficulties, opportunities and challenges". Marine Pollution Bulletin. En www.elsevier.com/located/marpolbul.

- ♦ Borja, A.; García de Vicuña, B.; Blanco J.M.; Aguirre, A.; Aierbe, E.; Bald, J.; Belzunce, M.J.; Fraile, H.; Franco, J.; Gandarias, O.; Goikoetxea, I.; Leonardo, J.M.; Lonbide, L.; Moso, M.; Muxika, I.; Pérez, V.; Santoro, F.; Solaun, O.; Tello, E.M. y Valencia, V. 2003a. “Red de Vigilancia de las Masas de Aguas Superficiales de la Comunidad Autónoma del País Vasco”. Tomo 1: Metodologías Utilizadas. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Gobierno Vasco. 199 pp.
- ♦ Borja, A.; García de Vicuña, B.; Blanco J.M.; Aguirre, A.; Aierbe, E.; Bald, J.; Belzunce, M.J.; Fraile, H.; Franco, J.; Gandarias, O.; Goikoetxea, I.; Leonardo, J.M.; Lonbide, L.; Moso, M.; Muxika, I.; Pérez, V.; Santoro, F.; Solaun, O.; Tello, E.M. y Valencia, V. 2003b. “Red de Vigilancia de las Masas de Aguas Superficiales de la Comunidad Autónoma del País Vasco”. Tomo 22: Síntesis del Estado Ecológico. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Gobierno Vasco. 226 pp.
- ♦ BORM, 2002a. “Resolución de la Secretaría Sectorial de Agua y Medio Ambiente para la concesión de la autorización de vertido al mar de las aguas sanitarias de la empresa ENAGAS S.A. de Cartagena”. (BORM nº 181, 6 de agosto de 2002. pp 11823-11825).
- ♦ BORM, 2002b. “Resolución de la Secretaría Sectorial de Agua y Medio Ambiente para la concesión de la autorización de vertido al mar de las aguas residuales de la empresa Fábrica de Motores, E.N. Bazán de C.N.M. S.A.”. (BORM nº 261, 11 de noviembre de 2002. pp 16105-16107).
- ♦ BORM, 2003. “Resolución de la Dirección General de Calidad Ambiental por la que se concede la autorización ambiental integrada de la empresa Fosfatos de Cartagena, S.L. para la instalación de una planta de producción de fosfatos mono y bicálcico, en el Valle de Escombreras-municipio de Cartagena”. (BORM nº 288, pp. 20705-20712).
- ♦ Calvín, J.C. 2003. “Fondos Marinos de Murcia”. Ed. Juan Carlos Calvín (Murcia). 301 pp.
- ♦ Castaño Gea, J. 2005. “La Evaluación Ambiental Estratégica como Elemento Clave para la Planificación Portuaria”. XI Congreso de Tráfico marítimo y Gestión Portuaria. Puertos del Estado, Ministerio de Fomento. Cartagena. pp. 31-38.
- ♦ CBD. 2000. Ecosystem Approach. Fifth Conference of the Parties to the Convention on Biodiversity. Nairobi, Kenya, Mayo de 2000. En www.iisd.ca/biodiv/cop5/.

- ♦ CEDEX. 1983. “Estudio Piloto de Contaminación Marina en la Bahía de Cartagena”. Centro de Estudios y Experimentación de Puertos y Costas Ramón Iribarren. Tomo II. 231 pp.
- ♦ CEDEX. 2001. “Estudio sobre los Aspectos Ambientales de los Dragados Portuarios”. Centro de Estudios de Puertos y Costas. Informe Técnico para Puertos del Estado. 126 pp.
- ♦ CEDEX. 2005a. “Estudio de Condiciones en la Zona de Evolución de Posibles Vertidos de Hidrocarburos en el Puerto de Cartagena”. Centro de Estudios de Puertos y Costas. Primer Informe parcial: Condiciones Meteorológicas y Oceanográficas. Tomo único. CEDEX: 23-404-9-201. 53 pp.
- ♦ CEDEX. 2005b. “Estudio de Condiciones en la Zona de Evolución de Posibles Vertidos de Hidrocarburos en el Puerto de Cartagena”. Centro de Estudios de Puertos y Costas. Informe específico: Descripción General de las Condiciones Ambientales. CEDEX: 23-404-9-201. 100 pp.
- ♦ Chapman, P.M. y Wang, F. 2001. “Assesing Sediment Contamination in Estuaries”. *Enviromental Toxicology and Chemistry* 20. pp 3-22.
- ♦ COM. 2005a. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council, establishing a Framework of Community Action in the field of Marine Environmental Policy. (COM (2005), 505 final, SEC (2005), 1290, 31 pp.).
- ♦ COM. 2005b. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. Thematic Strategy on the Protection and Conservation of the Marine Environment. (COM (2005), 504 final, SEC (2005), 1290, 9 pp.).
- ♦ COM. 2005c. Commission Staff Working Document. Annex to the Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. Thematic Strategy on the Protection and Conservation of the Marine Environment, and Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council, establishing a Framework for Community Action in the field of Marine Environmental Policy. (COM (2005), 504 and 505 final, SEC (2005), 1290, 79 pp.).
- ♦ Custodio, E. y Llamas, M.R. 1983. “Hidrología Subterránea”. Vol. I. Ed. Omega. Barcelona. 595 pp.

- ♦ Decisión 2850/2000/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de cooperación en el ámbito de la contaminación marina accidental o deliberada. (DOCE L332 28/12/2000. pp. 1-6).
- ♦ Decisión 99/802/CE del Consejo, de 22 de octubre de 1999, relativa a la aceptación de las enmiendas al Convenio para la protección del Mar Mediterráneo contra la contaminación y al Protocolo sobre la prevención de la contaminación causada por vertidos desde buques y aeronaves (Convenio de Barcelona). (DOCE L322 28/12/1999. pp. 32-33).
- ♦ Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre del 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. (DOCE L327 22/12/2000. pp.1-73)
- ♦ Directiva 2001/106/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de diciembre de 2001, por la que se modifica la Directiva 95/21/CE del Consejo sobre el cumplimiento de las normas internacionales de seguridad marítima, prevención de la contaminación y condiciones de vida y de trabajo a bordo, por parte de los buques que utilicen los puertos comunitarios o las instalaciones situadas en aguas bajo jurisdicción de los Estados miembros. (DOCE L19 22/01/2000. pp. 17-31).
- ♦ Directiva 2002/84/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de noviembre de 2002, por la que se modifican las Directivas relativas a la seguridad marítima y a la prevención de la contaminación por los buques. (DOCE L324 29/11/2002. pp. 53-58).
- ♦ Directiva 97/34/CE de 6 de junio, por la que se modifica la Directiva 93/75/CEE, sobre las condiciones mínimas exigidas a los buques con destino a los puertos marítimos de la Comunidad o que salgan de los mismos y transporten mercancías peligrosas o contaminantes. (DOCE L158 17/06/1997. pp. 40–40).
- ♦ Directiva 98/25/CE del Consejo de 27 de abril de 1998 por la que se modifica la Directiva 95/21/CE sobre el cumplimiento de las normas internacionales de seguridad marítima, prevención de la contaminación y condiciones de vida y de trabajo a bordo, por parte de los buques que utilicen los puertos comunitarios o las instalaciones situadas en aguas bajo jurisdicción de los estados miembros. (DOCE L133 07/05/1998. pp. 19-20).

- ♦ Directiva 98/42/CE de la Comisión de 19 de junio de 1998 por la que se modifica la Directiva 95/21/CE del Consejo sobre el cumplimiento de las normas internacionales de seguridad marítima, prevención de la contaminación y condiciones de vida y de trabajo a bordo, por parte de los buques que utilicen los puertos comunitarios o las instalaciones situadas en aguas bajo jurisdicción de los estados miembros. (DOCE L184 27/06/1998. pp. 40-46).
- ♦ Domenech, J.L.; Ondiviela, B.; García, A.; Sámano, M.L.; Revilla, J.A.; Juanes, J.A.; Guinda, X.; Carranza, I.; Carrascal, J.L.; Álvarez, J.M. y Muñoz-Calero, R. 2006. “Aplicación de la ROM 5.1-05 en el Puerto de Gijón”. En EROM 01, Procedimiento Metodológico Participativo para la Canalización, Recogida y Difusión de Estudios y Análisis Técnico-Científicos sobre los Documentos del Programa ROM”. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. pp. 6.1-6.45.
- ♦ Eaton, A. D., Clesceri, L.S. and Greenberg, A.E. 1995. “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. 19th Edition. Ed. American Public Health Association, Washington, DC. 953 pp.
- ♦ González García, I.; 1999. “Bahías: su Regulación en el Derecho Internacional del Mar”. Universidad de Cádiz, Servicio de Publicaciones. 116 pp.
- ♦ Hidráulica y Medio Ambiente. 1996. “Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental del Nuevo Atraque en la Zona Sureste de la Dársena de Escombreras”. Informe Técnico para ITGE y APC.
- ♦ Hidráulica y Medio Ambiente. 1997. “Plan de Vigilancia y Seguimiento de Dragados y Recinto de Vertidos a Corto Plazo, para la Obra de Construcción del Nuevo Atraque en la Zona Sureste de la Dársena de Escombreras y Atraque Lado Oeste del Muelle Príncipe Felipe”. Informe Técnico para APC. 46 pp.
- ♦ HIDTMA S.L. 1997. “Plan de vigilancia y seguimiento de dragados y recinto de vertidos a corto plazo, para la obra de construcción del nuevo atraque en la zona sureste de la dársena de Escombreras y atraque lado oeste del muelle Príncipe Felipe”. Informe Técnico para la APC. 62 pp.
- ♦ IGME, 1993. Mapa Geológico de Murcia, E: 1:200.000. En www.igme.es
- ♦ ITGE. 1990. Mapa Geológico de la Plataforma Continental Española y Zonas Adyacentes. Murcia. E: 1:200.000. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 147 pp.
- ♦ ITGE. 1993. Mapa Geológico de España. Cartagena. E: 1:50.000. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 20 pp.

- ♦ IZAR Construcciones Navales, S.A., 2004. “Programa de Vigilancia y Control del Medio Receptor”. Informe nº 04-1535-006. Informe para el cumplimiento de la Autorización de Vertido de tierra a mar para la Junta de Comunidades de Murcia, Dirección General de Calidad Ambiental. 41 pp.
- ♦ Kennish, M. J. 2000. “Practical Handbook of Marine Science”. Ed. Michael J. Kennish, Ph.D. Institute of Marine and Coastal Science Rutgers University. New Jersey. CRC Press. 876 pp.
- ♦ Ley 16/2002, de 1 de julio de 2002. Prevención y Control Integrados de la Contaminación. (BOE nº 157 de 2 de julio 2002, pp. 23910 – 23927).
- ♦ Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas. (BOE nº 181 de 29 de julio de 1988, pp. 23386 – 23401).
- ♦ Ley 27/1992, de 24 de noviembre, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante. (BOE del 25 de noviembre de 1992, pp. 39953 – 39984).
- ♦ Ley 62/1997, de 26 de diciembre. Modificación de la Ley 27/1992, de 24 de noviembre, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante. (BOE nº 312, pp. 38233 – 38245).
- ♦ Long, E.R. and Morgan, L.G. 1991. “The Potential for Biological Effects of Sediment-sorbed Contaminants Tested in the National Status and Trends Program, US”. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Seattle, WA. 229 pp.
- ♦ López-Samaniego, E.; Malonda, I.; Herráez, I.; Miranda, F.J.; Rol, F.; Cano, R.; Sierra, M.J. y Millán, R. 2006. “Aplicabilidad de la ROM 5.1-05 al Puerto de Cartagena”. En *EROM 01, Procedimiento Metodológico Participativo para la Canalización, Recogida y Difusión de Estudios y Análisis Técnico-Científicos sobre los Documentos del Programa ROM*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. pp. 4.1–4.17.
- ♦ Marine Pollution Monitoring Management Group. 1998. “National Monitoring Programme”. Survey of the Quality of UK Coastal Waters. Ed. Marine Pollution Monitoring Management Group. Aberdeen. 77 pp.
- ♦ Millero, F.J.; 2006. “Chemical Oceanography”. Marine science series 30. Ed. Taylor & Francis Group. London & New York. 496 pp.
- ♦ Ministerio de Medio Ambiente. 1996. “Seguimiento de la Contaminación Producida por el Accidente del Buque Aegean Sea. Sistema Pelágico”. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 63 pp.

- ♦ Ministerio de Medio Ambiente. 2001. “Manual práctico de Derecho Ambiental. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia”. Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General de Medio Ambiente. 159 pp.
- ♦ Ministerio de Medio Ambiente. 2007. “Borrador de Real Decreto por el que se establecen los programas de reducción de la contaminación por vertidos de sustancias peligrosas al medio marino”. Documento interno.
- ♦ Morales Gil, A. 2004. “Trascendencia Territorial del Puerto de Cartagena. Investigaciones Geográficas”. Anales de la Universidad de Alicante, Instituto Universitario de Geografía 33: pp. 6-29.
- ♦ Morin, P. 1995. “Determination of Nitrate and Phosphate in Seawater”. Handbook of Method and Protocols in Mediterranean Targeted Project. En www.cetiis.fr/mtp/qaps
- ♦ Ondiviela, B.; García, A.; Revilla, J.A.; Juanes, J.A., Alvarez, C.; Puente, A.; García, A.; Guinda, X. y Carranza, I. 2006. “Ejemplo Teórico de Aplicación de la ROM 5.1”. En *EROM 01, Procedimiento Metodológico Participativo para la Canalización, Recogida y Difusión de Estudios y Análisis Técnico-Científicos sobre los Documentos del Programa ROM*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. pp. 1.1 – 1.93.
- ♦ Orden de 31 de octubre de 1989 por la que se establecen normas de emisión, objetivos de calidad, métodos de medida de referencia y procedimientos de control relativos a determinadas sustancias peligrosas en los vertidos desde tierra al mar. (BOE nº 271 de 11 de noviembre de 1989, pp. 35285 – 35290).
- ♦ Pérez López, C. 2004. “Técnicas de análisis multivariante de datos”. Pearson Educación S.A. Madrid. 672 pp.
- ♦ Peterson, C.H., Kennicutt, M.C., Green, R.H., Montagna, P., Harper, D.E., Powell, E.N. and Roscigno, P.F. 1996. “Ecological Consequences of Environmental Perturbations Associated with Offshore Hydrocarbon Production: a Perspective on Long-term Exposures in the Gulf of Mexico”. *Aquatic Science* 53. pp. 2637-2654.
- ♦ Puertos del Estado. 2005. “ROM 5.1-05: Calidad de las Aguas Litorales en Áreas Portuarias”. Ministerio de Fomento. 136 pp.

- ♦ Puertos del Estado. 2006. “Procedimiento metodológico Participativo para la Canalización, Recogida y Difusión de Estudios y Análisis Técnico-Científicos sobre los documentos del Programa ROM, EROM 01”. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. 214 pp.
- ♦ Real Decreto 1381/2002, de 20 de diciembre, sobre instalaciones portuarias de recepción de desechos generados por los buques y residuos de carga. (BOE nº 305, pp. 45003 – 45016).
- ♦ Real Decreto 1471/1989 de 1 de diciembre, que aprueba el Reglamento General para desarrollo y ejecución de la Ley 22/88, de 28 de julio, de Costas. (BOE nº 297, pp. 38459 – 38485).
- ♦ Real Decreto 1828/2000, de 3 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento para el control del cumplimiento de la normativa internacional sobre seguridad marítima, prevención de la contaminación y condiciones de vida y trabajo en los buques extranjeros que utilicen puertos o instalaciones situados en aguas jurisdiccionales españolas, aprobado por el Real Decreto 768/1999, de 7 de mayo. (BOE nº 265, pp. 38433 – 38435).
- ♦ Real Decreto 258/1989, de 10 de marzo, por el que se establece la normativa general sobre vertido de sustancias peligrosas desde tierra al mar. (BOE nº 64, pp. 7359 – 7362).
- ♦ Real Decreto 438/1994, de 11 de marzo, por el que se regulan las instalaciones de recepción de residuos oleosos procedentes de los buques en cumplimiento del Convenio Internacional “MARPOL 73/78 “. (BOE nº 84, pp. 10807 – 10811).
- ♦ Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. . (BOE nº 135, pp.22071 – 22096).
- ♦ Real Decreto 768/1999, de 7 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento para el control del cumplimiento de la normativa internacional sobre seguridad marítima, prevención de la contaminación y condiciones de vida y trabajo en los buques extranjeros que utilicen puertos o instalaciones situadas en aguas jurisdiccionales españolas. (BOE nº 121, pp. 19256 – 19267).

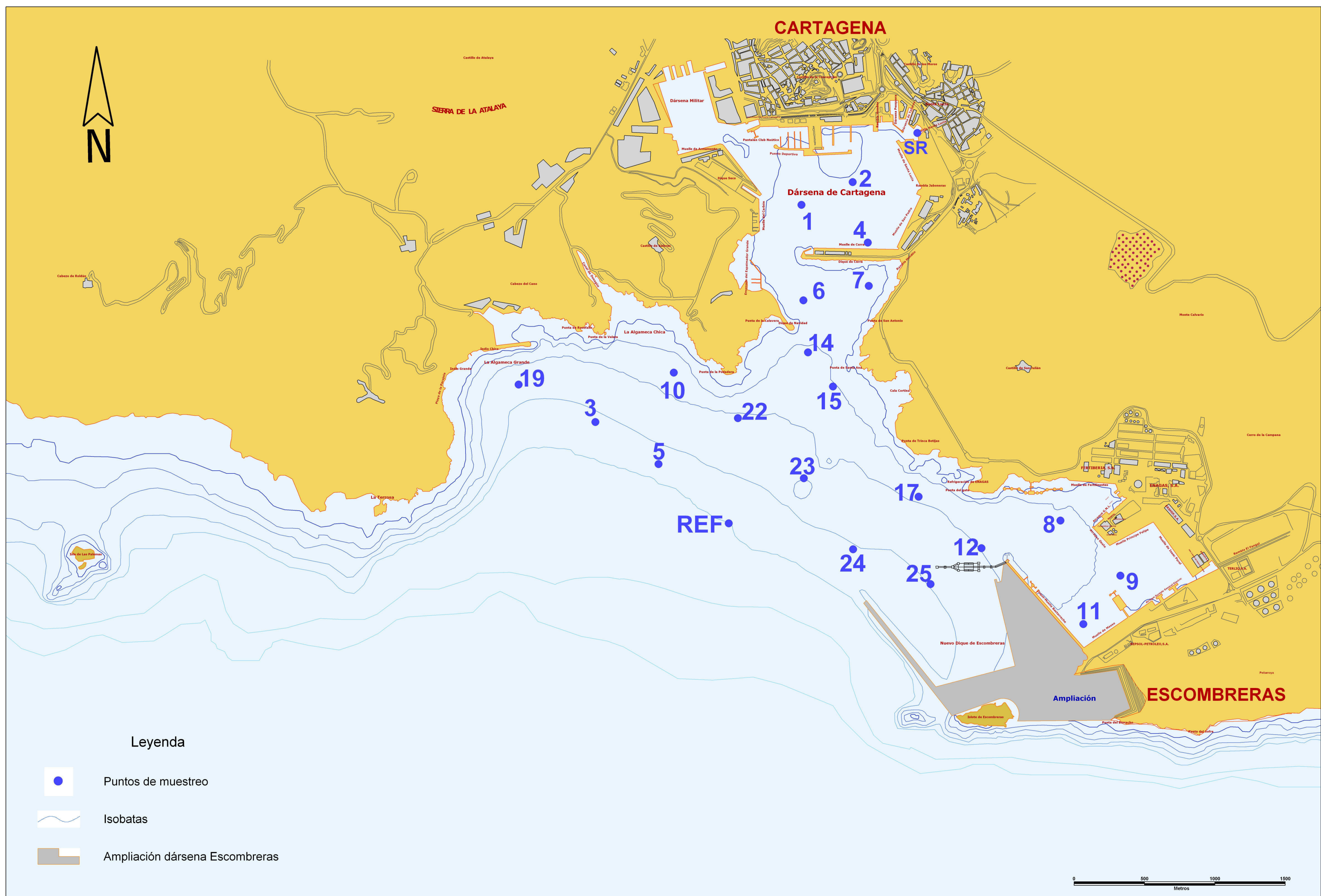
- ♦ Real Decreto 995/2000, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril. (BOE nº 147 de 21 de junio de 2000, pp. 21558 – 21562).
- ♦ Real Decreto-Ley 9/2002, de 13 de diciembre, por el que se adoptan medidas para buques tanque que transporten mercancías peligrosas o contaminantes. (BOE nº 299, pp. 43555 – 43556).
- ♦ Reglamento 2099/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de noviembre de 2002, por el que se crea el Comité de seguridad marítima y prevención de la contaminación por los buques (COSS) y se modifican los reglamentos relativos a la seguridad marítima y a la prevención de la contaminación por los buques. (DOCE nº L324. pp. 1-5).
- ♦ Resolución MEPC. 39(29), aprobada el 16 de marzo de 1990. Enmiendas de 1990 al anexo del Protocolo de 1978 relativo al Convenio Internacional para prevención de la contaminación por los buques, 1973. Introducción del sistema armonizado de reconocimientos y certificación en los anexos I y II del MARPOL 73/78. (BOE nº 231, pp. 34320 – 34333).
- ♦ Resolución MEPC. 65(37) adoptadas el 14 de septiembre de 1995. Enmiendas de 1995 al anexo del Protocolo de 1978 relativo al Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques, 1973. Enmiendas de la regla 2 y de la nueva regla 9 del anexo V, aprobadas por el Comité de Protección del Medio Marino de la Organización Marítima Internacional en su 37º período de sesiones. (BOE nº 178, pp. 22939 – 22941).
- ♦ Resolución MEPC. 68(38), adoptadas el 10 de julio de 1996. Enmiendas de 1996 al anexo del Protocolo de 1978 relativo al Convenio Internacional para prevención de la contaminación por los buques, 1973. Enmiendas al Protocolo I. (BOE nº 168, pp. 26785 – 26786).
- ♦ Resolución MEPC. 75 (40), adoptadas el 25 de septiembre de 1997. Enmiendas de 1997 al anexo del protocolo de 1978 relativo al Convenio Internacional para prevención de la contaminación por los buques, 1973. Enmiendas a la regla 10 y nueva regla 25A del anexo I del MARPOL 73/78. (BOE nº 164, pp. 26235 – 26236).

- ♦ Resolución MEPC. 95(46) adoptada el 27 de abril de 2001. Enmiendas de 2001 al anexo de Protocolo de 1978 relativo al Convenio Internacional para prevención de la contaminación por los buques, 1973. Enmiendas a la regla 13G del anexo I del MARPOL 73/78 y al suplemento del certificado IOPP. (BOE nº 306, pp. 45120 – 45122).
- ♦ Resolución MPEC 51(32), de 6 de marzo de 1992. Enmiendas al anexo del Protocolo de 1978, relativo al Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques 1973, hecho en Londres el 17 de febrero de 1978. (BOE nº 231, pp. 28236 – 28236).
- ♦ Rodier, J.; 1990. “Análisis de las Aguas”. Ed. Omega (Barcelona), 1059 pp.
- ♦ Romo, J. 2006. “Aproximación a la Vigilancia Ambiental del la ROM 5.1-05 el Control de Calidad de las Aguas en el Puerto de Barcelona”. En *EROM 01, Procedimiento Metodológico Participativo para la Canalización, Recogida y Difusión de Estudios y Análisis Técnico-Científicos sobre los Documentos del Programa ROM*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. pp. 3.1 – 3.12.
- ♦ Ruiz Bauzá, F.; 2002. “Estudio de Impacto Ambiental del proyecto básico de dársena para yates en el Puerto de Cartagena”. Hidráulica y Medio Ambiente. Informe Técnico para APC. 78 pp.
- ♦ Skougstad, M.W., Fishman, M. J., Friedman, L.C., Erdmann, D.E. and Duncan, S. S.; 1979. “Methods for Determination of Inorganic Substances in Water and Fluvial Sediments”. Techniques of Water-Resources Investigations of the United Stated Geological Survey. Book 5, Chapter A. United Stated Government Printing Office, Washington. 616 pp.
- ♦ Tornero Gómez, J.; 2000. “La Sierra de Cartagena: La estación naval de Algameca y sus condiciones ambientales”. Ministerio de Defensa, Secretaría General Técnica (Madrid). 160 p.
- ♦ UNCLOS, 1982. United Nations Convention on the Law of the Sea, signed at Montego Bay, Jamaica, on December 1982, 202 pp. En www.un.org/depts/los/index.htm.
- ♦ UNE 77028 de mayo de 2002. “Calidad del Agua, Determinación de Nitrógeno Amoniacal. Método por Destilación y Valoración o Colorimetría”. Norma Española. AENOR (Madrid). 7 pp.

- ♦ UNE 77049 de febrero de 2002. “Calidad del Agua, Determinación de Sulfatos. Método Turbidimétrico”. Norma Española. AENOR (Madrid). 4 pp.
- ♦ UNE-EN ISO 7027 de marzo de 2001. “Calidad del Agua, Determinación de la Turbidez”. Norma Española. AENOR (Madrid). 17 pp.
- ♦ UNE-EN ISO 9377 de septiembre de 2001. “Calidad del Agua, Determinación de Índice de Hidrocarburos. Parte 2: método por extracción con disolvente mineral y cromatografía de gases”. Norma Española. AENOR (Madrid). 25 pp.

ANEXO I

MAPA I.- PUERTO DE CARTAGENA



ANEXO II

TABLAS DE DATOS

En las tablas de datos las muestras aparecen ordenadas de mayor a menor profundidad y orden numérico, solo se reflejan en las Tablas las muestras tomadas en cada muestreo (Figura A).

PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS UTM		PROFUNDIDAD MAXIMA (m)	PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (m)				
	X	Y		1	5	10	20	40
1	678043	4162485	13	C	B	A		
2	678408	4162647	13	C	B	A		
3	676580	4160943	45	E	D	C	B	A
4	678515	4162217	13	C	B	A		
5	677028	4160644	46	E	D	C	B	A
6	678058	4161807	17	C	B	A		
7	678522	4161909	14	C	B	A		
8	679883	4160242	21	C	B	A		
9	680309	4159851	17	C	B	A		
10	677137	4161293	29	D	C	B	A	
11	680046	4159506	15	C	B	A		
12	679323	4160046	29	D	C	B	A	
14	678090	4161438	20	C	B	A		
15	678268	4161194	22	C	B	A		
17	678876	4160412	30	D	C	B	A	
19	676034	4161208	39	D	C	B	A	
22	677592	4160970	32	D	C	B	A	
23	678061	4160542	34	D	C	B	A	
24	678410	4160038	41	D	C	B	A	
25	678960	4159791	39	D	C	B	A	
REF	677527	4160223	51	E	D	C	B	A
SR	678867	4162996	6	SR				

Tabla A. Resumen de las muestras tomadas

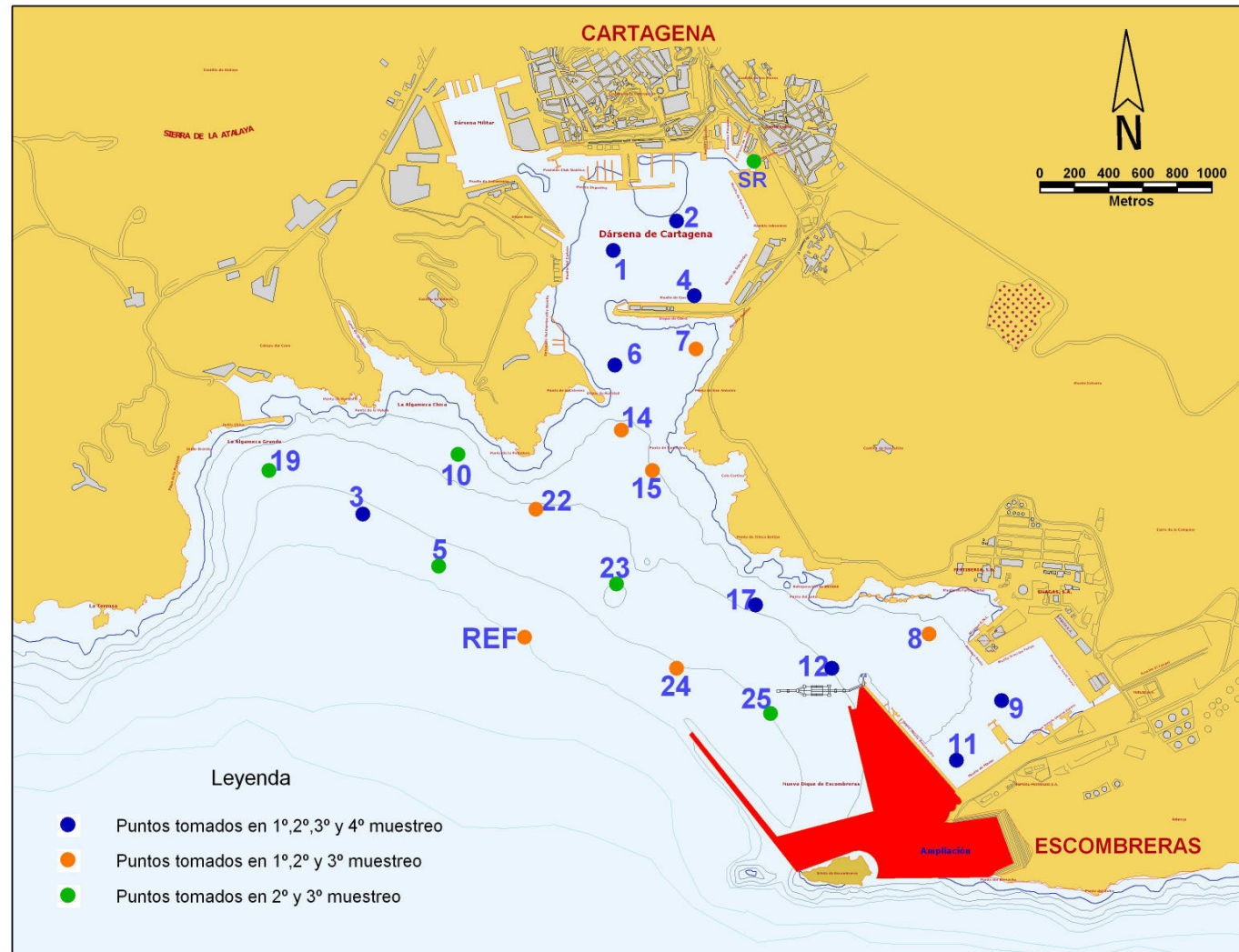


Figura A. Red de muestreo

TABLA 1. RESULTADOS DE PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS

1º MUESTREO

MUESTRA	PROF. (m)	T (°C)	C.E mS/cm	SALINIDAD Medida g/l	S _T g/l	OXIGENO mg/l	pH	REDOX mV	TURBIDEZ FTU	CLOROFILA A µg/l
REF A	40	16,9	48,0	37,80	35,80	7,90	8,32	220	-	4,90
REF B	20	16,9	48,0	37,80	37,74	8,00	8,32	215	-	5,80
3B	20	16,8	47,7	37,70	36,44	9,50	8,30	-	2,0	5,00
15A	20	16,8	47,9	37,80	37,08	7,90	8,33	168	2,2	4,50
17A	20	16,9	47,9	37,80	35,80	7,80	8,29	179	3,1	4,30
22A	20	16,9	48,0	37,80	37,74	7,90	8,32	173	2,4	5,50
24A	20	16,9	48,0	37,80	38,38	7,80	8,32	187	2,0	4,70
1A	10	16,0	46,6	37,40	36,44	8,90	8,29	120	3,1	6,60
2A	10	16,4	47,0	37,50	35,16	8,90	8,28	139	3,0	3,90
3C	10	16,7	47,6	37,70	36,44	8,90	8,30	-	2,1	5,20
4A	10	16,1	46,8	37,50	36,44	8,80	8,27	156	3,1	6,70
6A	10	16,8	47,8	37,70	36,44	8,90	8,19	140	2,4	5,60
7A	10	16,8	47,7	37,70	33,88	8,90	8,30	-	2,7	5,40
8A	10	16,7	47,7	37,70	37,74	8,60	8,30	-	3,5	5,00
9A	10	16,8	47,7	37,70	39,91	8,80	8,30	-	4,0	4,90
11A	10	16,8	47,7	37,70	36,46	9,10	8,30	-	3,2	4,90
12A	10	16,7	47,7	37,70	33,24	8,80	8,30	-	2,8	5,10
14A	10	16,4	47,2	37,60	37,10	8,80	8,28	136	2,5	4,40
15B	10	16,8	47,9	37,80	35,80	8,10	8,33	166	2,2	4,90
17B	10	16,9	48,0	37,80	35,16	7,90	8,29	166	2,7	4,70
22B	10	16,9	48,0	37,80	35,16	8,00	8,32	174	3,2	5,50
24B	10	16,9	48,0	37,80	33,88	7,90	8,33	182	2,3	5,00

MUESTRA	PROF. (m)	T (°C)	C.E mS/cm	SALINIDAD g/l	S _T g/l	OXIGENO mg/l	pH	REDOX mV	TURBIDEZ FTU	CLOROFILA A µg/l
1B	5	16,0	46,6	37,40	40,94	8,40	8,29	131	3,2	6,50
2B	5	16,0	46,6	37,40	36,44	8,30	8,29	145	2,8	7,60
4B	5	16,0	46,6	37,50	33,88	8,50	8,27	157	3,2	7,00
6B	5	16,3	46,8	37,40	39,40	8,20	8,23	147	3,5	8,20
7B	5	16,7	47,6	37,70	32,62	8,10	8,30	-	3,1	5,60
8B	5	16,7	47,5	37,60	33,24	7,90	8,30	-	4,6	5,10
9B	5	16,8	47,7	37,70	35,82	7,90	8,30	-	3,7	5,00
11B	5	-	-	-	38,89	5,80	-	-	-	-
12B	5	16,7	47,6	37,70	37,74	7,60	8,30	-	3,2	5,10
14B	5	16,4	47,2	37,60	35,16	8,40	8,28	141	2,5	4,50
REF C	1	16,8	47,9	37,80	36,46	7,90	8,3	213	0,9	5,40
1C	1	16,0	46,5	37,40	40,94	7,70	8,29	137	3,6	6,60
2C	1	16,0	46,5	37,30	35,80	7,80	8,29	148	2,9	6,00
3D	1	16,7	47,6	37,70	37,71	7,40	8,30	-	2,2	4,80
4C	1	16,0	46,7	37,50	35,80	7,80	8,28	155	3,1	6,80
6C	1	16,1	46,4	37,20	36,44	7,90	8,27	153	3,9	8,90
7C	1	16,3	46,9	37,40	37,71	7,60	8,25	-	3,5	7,20
8C	1	16,6	47,3	37,50	33,88	7,40	8,25	-	6,5	4,50
9C	1	16,1	46,0	36,70	34,52	7,60	8,25	-	13,9	4,90
11C	1	16,3	47,1	37,50	35,18	7,80	8,30	-	3,4	6,60
12C	1	16,6	47,5	37,60	39,40	7,40	8,30	-	3,2	5,00
14C	1	16,4	47,2	37,60	34,52	7,40	8,28	143	2,6	3,80
15C	1	16,9	47,9	-	36,44	7,90	8,33	166	2,1	4,70
17C	1	16,9	48,0	37,80	34,54	7,90	8,25	164	2,9	4,70
22C	1	16,8	47,9	37,80	35,80	7,80	8,32	178	2,4	5,60
24C	1	16,8	47,9	37,90	35,18	8,00	8,32	181	2,4	4,70

TABLA 2. RESULTADOS DE PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS

2º MUESTREO

MUESTRA	PROF. (m)	T (°C)	C.E. mS/cm	SALINIDAD g/l	S _T g/l	OXIGENO mg/l	pH	REDOX mV	TURBIDEZ FTU	CLOROFILA A (µg/l)
REF B	20	14,7	45,5	37,65	39,11	10,20	8,24	-	7,73	13,25
3B	20	14,7	45,5	37,64	33,99	10,30	8,23	101	-	3,77
5B	20	-	-	-	39,75	-	-	-	-	-
17A	20	14,6	45,4	37,59	36,55	10,40	8,19	139	4,61	2,84
19A	20	14,6	45,5	37,68	39,75	10,90	8,26	66	0,73	3,99
23A	20	14,6	45,5	37,75	39,11	10,70	8,25	158	2,38	2,81
24A	20	14,7	45,4	37,52	37,83	10,10	-	-	11,63	2,18
25A	20	14,6	45,4	37,61	37,83	10,70	8,23	153	6,23	2,81
REF C	10	14,8	45,4	37,48	39,11	9,50	-	-	7,49	3,32
1A	10	-	-	-	33,99	-	-	-	-	-
2A	10	-	-	-	38,47	-	-	-	-	-
3C	10	14,8	45,3	37,43	31,44	9,20	8,24	106	-	5,33
4A	10	14,6	44,9	37,21	37,83	11,10	8,31	-	2,84	7,51
5C	10	-	-	-	41,03	-	-	-	-	-
6A	10	14,7	45,4	37,51	32,71	10,20	8,32	121	2,41	7,53
7A	10	14,7	45,6	37,76	35,27	9,50	8,27	86,2	12,23	3,96
8A	10	14,7	45,2	37,40	37,83	9,50	8,24	-	5,24	4,05
9A	10	14,8	45,1	37,23	37,83	-	-	-	12,83	16,42
10B	10	14,8	45,5	37,57	32,08	9,10	-	59,6	12,31	15,82
11A	10	14,6	44,9	37,21	37,19	9,70	8,25	128	10,58	14,69
12A	10	14,7	45,2	37,42	32,71	9,50	8,24	146	16,14	4,12
14A	10	14,8	45,5	37,59	39,75	10,40	8,27	122	3,57	5,39
15B	10	14,7	45,5	37,68	31,44	9,40	-	-	12,96	4,06
17B	10	14,7	45,1	37,30	39,75	10,20	8,21	137	6,64	3,19
19B	10	14,7	45,4	37,51	37,19	9,70	8,27	66,8	0,05	5,02
22B	10	14,7	45,4	37,55	38,47	9,50	8,23	-	12,46	10,03
23B	10	14,8	45,4	37,53	38,47	9,60	8,25	157	3,56	4,02

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	T (°C)	C.E. mS/cm	SALINIDAD g/l	S _T g/l	OXIGENO mg/l	pH	REDOX mV	TURBIDEZ FTU	CLOROFILA A (µg/l)
24B	10	14,8	45,3	37,35	38,47	-	-	-	16,12	2,41
25B	10	14,7	45,0	37,22	37,83	9,60	8,24	149	14,86	3,31
REF D	5	14,8	-	23,54	37,83	7,80	-	-	3,93	3,88
1B	5	-	-	-	39,11	-	-	-	-	-
2B	5	-	-	-	34,63	-	-	-	-	-
3D	5	14,8	45,2	37,22	33,99	8,20	8,24	109	-	5,07
4B	5	14,5	44,8	37,19	37,83	9,80	8,31	161	13,01	27,27
5D	5	-	-	-	37,83	-	-	-	-	-
6B	5	14,7	45,3	37,46	38,47	12,60	8,34	109	2,65	8,94
7B	5	14,8	45,6	37,69	38,47	9,40	8,28	80,7	11,78	5,11
8B	5	14,7	45,0	37,23	45,51	11,40	8,25	-	3,20	4,47
9B	5	14,7	45,1	37,21	37,19	-	-	-	12,85	15,30
10C	5	14,8	45,3	37,32	39,75	9,40	-	-	12,54	15,60
11B	5	14,6	44,9	37,15	38,47	8,60	8,25	132	12,54	14,68
12B	5	14,7	45,1	37,30	33,35	8,80	8,25	145	8,24	4,37
14B	5	14,8	45,4	37,47	38,47	9,20	8,30	114	2,48	6,24
15C	5	14,9	45,3	37,34	37,19	8,30	8,25	-	14,17	19,15
17C	5	14,7	44,9	37,18	37,83	8,70	8,22	137	3,74	3,31
19C	5	14,7	45,3	37,46	39,11	8,50	8,28	67,0	2,33	5,53
22C	5	14,8	45,1	37,23	39,11	-	-	-	12,53	18,49
23C	5	14,8	45,3	37,36	37,19	10,20	8,26	157	3,85	4,10
24C	5	14,8	45,2	37,31	37,83	8,60	8,26	-	23,02	14,76
25C	5	14,7	45,1	37,25	37,19	8,60	8,24	149	10,53	3,95
REF E	1	14,1	-	-	37,83	7,80	-	-	-	-
1C	1	-	-	-	38,47	-	-	-	-	-
2C	1	14,6	44,9	37,20	38,47	7,90	8,31	169	3,12	13,00
3E	1	14,8	45,0	37,14	35,91	9,60	8,23	111	-	4,14
4C	1	14,5	44,8	37,19	37,83	-	8,30	160	12,94	17,87
5E	1	-	-	-	38,47	-	-	-	-	-
6C	1	14,7	45,3	37,46	39,11	9,80	8,34	-	2,64	8,70
7C	1	14,8	-	-	33,35	9,90	-	80,6	-	5,42

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	T (°C)	C.E. mS/cm	SALINIDAD g/l	S _T g/l	OXIGENO mg/l	pH	REDOX mV	TURBIDEZ FTU	CLOROFILA A (µg/l)
8C	1	14,7	45,0	37,23	38,47	10,50	-	-	3,20	3,55
9C	1	-	-	-	37,83	-	-	-	-	-
10D	1	14,8	45,1	37,22	32,71	7,20	8,24	-	10,95	14,22
11C	1	14,6	44,9	37,15	33,35	7,10	8,24	134	12,61	13,95
12C	1	14,6	45,0	37,27	35,91	8,10	8,24	145	4,11	3,84
14C	1	14,8	45,4	23,91	37,83	11,20	-	-	2,46	4,91
15D	1	-	-	-	37,83	-	-	-	-	-
17D	1	14,6	44,9	37,18	40,39	7,70	8,22	136	4,03	3,11
19D	1	14,7	45,3	37,46	34,63	8,54	8,28	67,1	2,30	5,49
22D	1	14,4	45,0	37,20	37,19	8,40			10,95	15,38
23D	1	14,8	45,2	37,27	37,19	9,10	8,25	156	3,21	3,05
24D	1	-	-	-	34,63	-	-	-	-	-
25D	1	14,7	45,0	37,21	33,99	6,60	8,24	-	9,63	2,92
SR	1	14,6	44,8	37,16	38,47	8,30	8,27	185	4,05	8,58

TABLA 3. RESULTADOS DE PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS

3º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	T (°C)	C.E. mS/cm	SALINIDAD g/l	S _T g/l	OXIGENO mg/l	pH	REDOX mV	TURBIDEZ FTU	CLOROFILA A (µg/l)
3A	40	14,5	46,0	38,30	39,11	14,21	8,29	71,5	-	8,87
5A	40	15,0	46,4	38,27	37,83	14,01	8,29	120	-	0,18
REF A	40	15,2	46,6	38,18	39,11	13,40	8,30	133	-	0,22
3B	20	16,2	47,5	38,06	37,83	8,60	8,30	78,8	-	2,83
5B	20	16,8	48,2	38,11	38,47	-	8,29	115	-	0,12
10A	20	17,3	48,6	37,98	38,47	-	8,29	-	-	0,07
12A	20	16,4	47,7	38,06	37,83	-	8,29	149	-	0,14
17A	20	16,1	47,4	38,08	39,75	-	8,32	148	-	0,22
19A	20	16,0	47,4	38,11	38,47	10,10	8,30	108	-	0,11
22A	20	16,8	48,2	38,04	39,11	-	8,28	101	-	0,08
23A	20	16,8	48,1	37,97	38,47	-	8,30	127	-	0,23
24A	20	16,1	47,5	38,07	39,11	-	8,30	144	-	0,12
25A	20	16,6	48,1	38,11	39,11	7,70	8,29	145	-	10,75
REF B	20	16,8	48,2	38,07	37,83	-	8,30	129	-	0,17
1A	10	17,9	49,2	37,96	38,47	7,90	8,31	142	-	0,15
2A	10	18,4	49,6	37,80	39,11	7,40	8,30	116	-	0,12
3C	10	21,2	52,5	37,72	38,47	10,60	8,27	82,6	-	3,31
4A	10	19,7	50,9	37,72	39,11	8,00	8,29	134	-	0,01
5C	10	20,7	52,1	37,87	36,55	10,40	8,27	113	-	0,16
6A	10	17,2	48,5	37,95	38,47	-	8,29	150	-	0,25
7A	10	18,2	49,5	37,90	38,47	7,90	8,28	137	-	0,24
8A	10	16,6	47,8	37,88	38,47	9,40	8,29	90,8	-	0,17
9A	10	16,1	47,3	37,96	37,83	-	8,30	118	-	0,23
10B	10	20,7	52,0	37,73	37,19	-	8,27	59,8	-	0,09
11A	10	17,1	48,5	38,06	38,47	-	8,28	97,4	-	0,22
12B	10	21,8	53,2	37,78	37,12	7,20	8,26	143	-	0,18
14A	10	17,6	48,9	37,91	39,11	-	8,29	130	-	0,23

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	T (°C)	C.E. mS/cm	SALINIDAD g/l	S _T g/l	OXIGENO mg/l	pH	REDOX mV	TURBIDEZ FTU	CLOROFILA A (µg/l)
15B	10	20,3	51,7	37,86	39,11	-	8,27	117	-	7,25
17B	10	21,8	53,2	37,78	37,83	7,20	8,26	143	-	0,18
19B	10	21,5	53,0	37,78	37,83	8,40	8,27	109	-	0,07
22B	10	20,6	52,0	37,84	35,91	-	8,27	93,3	-	0,11
23B	10	20,8	52,1	37,77	39,11	10,70	8,28	123	-	0,13
24B	10	21,9	53,4	37,78	39,11	7,10	8,27	137	-	0,04
25B	10	21,8	53,2	37,77	37,83	8,20	8,28	141	-	0,39
REFC	10	20,9	52,3	37,80	38,47	10,30	8,27	127	-	0,21
1B	5	22,8	54,1	37,56	37,19	5,90	8,31	136	-	0,42
2B	5	23,0	54,1	37,45	37,19	6,30	8,30	112	-	0,19
3D	5	22,4	53,6	37,60	37,83	-	8,26	85,3	-	2,58
4B	5	22,2	53,4	37,61	38,47	6,90	8,31	132	-	1,39
5D	5	22,2	53,6	37,74	37,83	9,80	8,26	111	-	11,36
6B	5	23,1	54,5	37,58	37,19	8,30	8,29	142	-	0,08
7B	5	19,9	51,2	37,82	37,83	7,30	8,28	134	-	0,20
8B	5	20,8	52,0	37,65	37,83	3,20	8,26	91,3	-	0,07
9B	5	18,5	49,7	37,86	37,83	-	8,28	102	-	0,17
10C	5	22,0	53,3	37,63	38,47	-	8,26	65,0	-	0,11
11B	5	21,9	53,2	37,66	38,47	-	8,26	96,3	-	0,14
12C	5	22,5	53,9	37,70	37,83	7,40	8,27	140	-	0,21
14B	5	22,4	53,7	37,66	37,83	9,70	8,28	126	-	0,07
15C	5	21,4	52,9	37,83	37,83	9,90	8,26	117	-	0,12
17C	5	22,5	53,9	37,70	38,47	7,40	8,27	140	-	0,21
19C	5	22,5	53,9	37,71	36,55	8,10	8,26	109	-	0,12
22C	5	21,9	53,2	37,72	36,55	-	8,25	90,6	-	0,21
23C	5	21,9	53,1	37,62	38,47	9,60	8,27	123	-	0,09
24C	5	22,3	53,7	37,70	37,83	8,30	8,26	133	-	0,07
25C	5	22,7	53,9	37,71	38,47	8,60	8,27	139	-	0,18
REF D	5	21,6	53,0	37,70	37,83	9,80	8,27	125	-	0,22
1C	1	24,2	55,4	37,39	37,19	7,90	8,33	135	-	0,87
2C	1	24,1	55,1	37,22	38,47	5,90	8,33	113	-	1,39

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	T (°C)	C.E. mS/cm	SALINIDAD g/l	S _T g/l	OXIGENO mg/l	pH	REDOX mV	TURBIDEZ FTU	CLOROFILA A (µg/l)
3E	1	22,8	54,0	37,52	37,83	9,60	8,25	-	-	4,26
4C	1	24,0	55,2	37,39	39,75	5,70	8,33	131	-	0,15
5E	1	22,8	54,2	37,70	37,19	6,00	8,25	111	-	0,15
6C	1	23,6	54,9	37,52	38,47	8,90	8,29	139	-	0,17
7C	1	23,7	55,0	37,57	38,47	8,60	8,29	132	-	0,19
8C	1	22,9	54,0	37,45	38,47	10,00	8,25	90,8	-	0,10
9C	1	22,9	54,1	37,54	38,47	-	8,25	103	-	0,18
10D	1	22,8	54,0	37,53	35,91	-	8,27	71,78	-	0,07
11C	1	22,9	54,1	37,43	38,47	10,30	8,25	99,1	-	0,18
12D	1	23,5	54,7	37,67	37,83	7,80	8,26	138	-	0,22
14C	1	23,5	54,8	37,54	37,19	-	8,29	123	-	0,11
15D	1	23,7	55,2	37,62	36,55	6,80	8,31	115	-	0,03
17D	1	23,5	54,7	37,67	37,83	7,80	8,26	138	-	0,22
19D	1	22,8	54,2	37,66	38,47	8,50	8,25	109	-	0,11
22D	1	22,6	54,0	37,64	37,83	10,20	8,25	91,3	-	0,11
23D	1	23,3	54,5	37,53	37,12	5,90	8,29	121	-	0,08
24D	1	23,0	54,4	37,66	37,83	8,60	8,25	129	-	0,13
25D	1	22,9	54,3	37,65	38,47	8,10	8,25	137	-	0,16
REF E	1	23,1	54,5	37,60	37,83	5,60	8,28	124	-	0,18
SR	1	24,2	55,4	37,37	37,83	8,20	8,27	156	-	1,56

TABLA 4. RESULTADOS DE PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS

4º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	T (°C)	C.E. mS/cm	SALINIDAD g/l	S _T g/l	OXIGENO mg/l	pH	REDOX mV	TURBIDEZ FTU	CLOROFILA A (µg/l)
3A	40	15,7	49,5	40,40	37,83	8,18	8,45	96,0	0,74	0,45
3B	20	19,8	53,8	40,06	37,83	7,40	8,42	93,2	0,48	0,40
12A	20	19,1	53,1	40,17	37,83	7,90	8,43	142	1,05	0,48
17A	20	18,9	52,9	40,15	38,47	7,84	8,45	132	1,57	0,47
1A	10	21,6	55,7	39,94	38,47	6,42	8,42	148	1,77	0,24
2A	10	21,6	55,9	40,03	39,11	6,48	8,43	148	1,80	0,19
3C	10	21,8	55,9	39,87	38,47	6,99	8,40	92,6	0,24	0,37
4A	10	21,6	55,9	40,07	39,11	6,34	8,42	152	3,20	0,19
6A	10	21,6	55,5	39,80	38,47	6,66	8,45	121	1,05	-
9A	10	21,8	55,8	39,86	38,47	6,68	8,43	129	0,81	0,41
11A	10	22,0	56,1	39,94	37,83	6,60	8,46	99,5	0,67	0,36
12B	10	22,0	56,3	40,01	38,47	6,29	8,43	138	0,42	0,39
17B	10	21,8	55,9	39,96	37,83	6,72	8,43	130	0,49	0,38
1B	5	21,6	55,7	39,87	38,47	6,41	8,43	146	1,55	0,21
2B	5	21,6	55,7	39,92	38,47	6,51	8,43	144	1,66	0,18
3D	5	22,0	56,0	39,80	37,19	6,66	8,40	92,4	0,14	0,37
4B	5	21,6	55,7	39,95	39,11	6,48	8,43	149	3,07	0,18
6B	5	21,6	55,4	39,71	38,47	6,73	8,45	117	1,04	0,31
9B	5	22,4	56,2	39,60	37,19	6,86	8,44	127	0,42	0,40
11B	5	22,1	56,1	39,79	38,47	6,74	8,44	106	0,66	0,42
12C	5	22,3	56,5	39,90	38,47	6,46	8,43	135	0,30	0,44
17C	5	22,0	56,1	39,81	38,47	6,45	8,42	128	0,43	0,41

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	T (°C)	C.E. mS/cm	SALINIDAD g/l	S _T g/l	OXIGENO mg/l	pH	REDOX mV	TURBIDEZ FTU	CLOROFILA A (µg/l)
1C	1	21,7	55,6	39,82	36,55	6,47	8,43	144	1,29	0,24
2C	1	21,6	55,5	39,80	37,19	6,50	8,44	141	1,82	0,17
3E	1	22,0	56,0	39,78	37,19	6,72	8,39	91,8	0,16	0,37
4C	1	21,6	55,6	39,85	38,47	6,43	8,44	147	3,34	0,20
6C	1	21,6	55,3	39,61	39,11	6,61	8,46	115	1,12	0,32
9C	1	22,4	56,2	39,58	37,83	6,66	8,44	125	0,42	0,43
11C	1	22,1	55,9	39,65	38,21	6,61	8,45	108	0,54	0,44
12D	1	22,7	56,8	39,81	37,83	6,66	8,43	133	0,20	0,45
17D	1	22,1	56,0	39,74	37,83	6,57	8,43	126	0,38	0,41

TABLA 5. RESULTADOS IONES MAYORITARIOS
1º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD	CARBONATOS	BICARBONATOS	SULFATOS	CLORUROS	SODIO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	Error
	m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	(%)
REF A	40	36	95	3000	19866	11426	468	435	1614	6
REF B	20	0	124	3000	20945	11214	481	463	1548	0
3B	20	38	117	2750	20221	10849	407	410	1360	2
15A	20	0	129	3250	20576	10768	417	446	1491	4
17A	20	0	146	3000	19866	10599	395	403	1450	2
22A	20	10	110	3000	20945	11558	421	389	1464	0
24A	20	5	124	2500	21300	11116	408	402	1388	4
1A	10	31	102	3000	20221	10551	453	417	1458	3
2A	10	31	124	2750	19511	11117	416	366	1391	3
3C	10	22	105	2750	20221	11148	417	432	1522	2
4A	10	34	110	3000	20221	11268	427	408	1425	1
6A	10	19	134	3750	20221	11271	443	402	1407	2
7A	10	19	112	3250	18801	11213	436	395	1404	6
8A	10	24	107	2750	20945	11011	418	397	1373	4
9A	10	24	112	3000	22152	11240	430	411	1402	8
11A	10	19	134	3000	20235	10681	409	406	1332	5
12A	10	24	117	3250	18446	11028	409	421	1388	6
14A	10	26	137	3000	20590	11044	401	410	1394	3
15B	10	12	120	3250	19866	10850	421	444	1448	1
17B	10	5	122	2750	19511	9498	396	418	1322	9
22B	10	12	112	3000	19511	10596	455	420	1450	0
24B	10	5	117	3000	18801	9962	404	406	1390	2
1B	5	29	81	2750	22720	10841	411	437	1481	11
2B	5	34	115	3250	20221	10891	436	437	1503	1
4B	5	34	117	2500	18801	10468	397	412	1391	3
6B	5	22	120	3000	21868	11227	429	442	1529	5
7B	5	24	112	2750	18105	11211	436	427	1522	13
8B	5	24	98	2750	18446	11232	417	488	1545	12

MUESTRA	PROFUNDIDAD	CARBONATOS	BICARBONATOS	SULFATOS	CLORUROS	SODIO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	Error
	m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	(%)
9B	5	24	117	3000	19880	9896	399	419	1343	9
11B	5	22	120	3000	21584	11158	473	458	1547	4
12B	5	19	117	3000	20945	11042	441	466	1508	2
14B	5	24	115	3000	19511	10223	387	437	1388	4
REF C	1	26	110	3250	20235	11511	499	497	1575	4
1C	1	24	129	2250	22720	11082	482	469	1552	6
2C	1	10	127	3000	19866	10612	457	405	1402	2
3E	1	17	117	3000	20931	10976	466	448	1491	3
4C	1	31	134	2500	19866	10319	417	412	1446	2
6C	1	17	122	2750	20221	10576	421	428	1454	3
7C	1	0	110	3000	20931	11486	426	416	1491	0
8C	1	24	115	2750	18801	11410	413	393	1478	10
9C	1	24	115	3500	19156	11773	419	434	1577	9
11C	1	22	127	2750	19525	11571	433	452	1555	9
12C	1	29	127	3250	21868	11411	426	423	1490	5
14C	1	31	154	2750	19156	11731	511	431	1469	11
15C	1	5	120	3250	20221	11649	312	479	1596	5
17C	1	17	122	3250	19170	11492	469	482	1577	9
22C	1	12	124	3250	19866	10952	441	451	1469	0
24C	1	26	122	2750	19525	11520	336	389	1449	6

TABLA 6 DE RESULTADOS IONES MAYORITARIOS
2º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD	CARBONATOS	BICARBONATOS	SULFATOS	CLORUROS	SODIO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	Error
	m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	(%)
REF B	20	17	97	3100	21655	10377	406	392	1444	12
3B	20	19	97	3150	18815	10296	479	329	1485	0
5B	20	21	100	3050	22010	10523	401	353	1251	15
17A	20	15	102	3150	20235	10809	397	487	1490	1
19A	20	19	103	3000	22010	11803	461	534	1629	0
23A	20	19	103	3200	21655	10044	381	462	1377	15
24A	20	19	95	3050	20945	11160	421	433	1531	2
25A	20	15	105	3050	20945	10426	416	396	1439	8
REF C	10	19	105	3100	21655	10735	425	397	1428	9
1A	10	17	97	2950	18815	10960	405	322	1338	3
2A	10	19	103	3100	21300	11336	383	349	1385	5
3C	10	21	97	2950	17395	10485	430	341	1548	10
4A	10	17	95	3050	20945	11077	411	337	1365	5
5C	10	17	91	3100	22720	10671	390	372	1291	16
6A	10	9	99	3000	18105	11338	405	336	1389	10
7A	10	19	95	3200	19525	11076	423	334	1356	1
8A	10	17	97	3100	20945	11284	418	332	1399	3
9A	10	36	103	3100	20945	11212	286	312	1357	5
10B	10	19	103	3200	17750	11627	354	336	1440	14
11A	10	21	100	3150	20590	11336	431	440	1550	1
12A	10	29	115	3150	18105	10858	399	487	1514	9
14A	10	19	100	3250	22010	10367	377	467	1427	13
15B	10	19	103	3000	17395	10588	406	470	1450	10
17B	10	17	89	3150	22010	11013	311	390	1545	8
19B	10	15	93	3200	20590	10319	312	415	1424	8
22B	10	21	103	3050	21300	10662	415	493	1463	7
23B	10	19	105	3050	21300	9735	338	378	1374	15
24B	10	19	100	3200	21300	10611	395	409	1555	7

MUESTRA	PROFUNDIDAD	CARBONATOS	BICARBONATOS	SULFATOS	CLORUROS	SODIO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	Error
	m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	(%)
25B	10	17	96	3250	20945	10369	394	358	1540	8
REF D	5	19	110	3300	20945	10325	435	408	1805	5
1B	5	19	93	3100	21655	11260	404	328	1314	8
2B	5	24	100	2750	19170	11885	453	366	1440	11
3D	5	19	95	3150	18815	10038	441	301	1439	3
4B	5	17	97	3050	20945	11430	414	385	1385	2
5D	5	21	103	3000	20945	11707	413	389	1428	1
6B	5	21	97	3250	21300	10733	428	323	1313	10
7B	5	15	100	3150	21300	10172	404	320	1228	16
8B	5	24	105	2950	25205	11972	433	341	1463	14
9B	5	27	95	3000	20590	10712	411	416	1471	4
10C	5	19	103	3100	22010	10785	376	325	1313	13
11B	5	19	93	3200	21300	10798	428	404	1484	7
12B	5	24	107	3000	18460	10910	447	416	1496	8
14B	5	19	100	3100	21300	10712	404	390	1488	7
15C	5	19	100	3150	20590	10687	393	530	1443	4
17C	5	15	105	2850	20945	10249	460	441	1371	9
19C	5	17	97	3000	21655	10374	485	285	1379	13
22C	5	19	97	3000	21655	10595	404	408	1467	9
23C	5	19	103	3100	20590	10305	462	431	1394	8
24C	5	19	105	3100	20945	10092	439	395	1347	12
25C	5	15	102	3150	20590	10204	409	381	1286	11
REF E	1	17	103	3250	20945	478	1516	11003	465	2
1C	1	19	100	2800	21300	352	1433	11709	444	2
2C	1	17	95	2700	21300	365	1434	11902	454	4
3E	1	19	97	2750	19880	325	1244	10233	372	5
4C	1	19	100	3000	20945	361	1294	10800	369	5
5E	1	21	100	3200	21300	318	1327	10719	381	8
6C	1	21	100	2950	21655	340	1363	11145	406	5
7C	1	17	102	2850	18460	344	1438	11741	412	15
8C	1	29	107	3100	21300	336	1381	11220	388	4

MUESTRA	PROFUNDIDAD	CARBONATOS	BICARBONATOS	SULFATOS	CLORUROS	SODIO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	Error
	m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	(%)
9C	1	24	119	2850	20945	412	1397	10284	412	8
10D	1	19	103	3200	18105	366	1364	9938	393	0
11C	1	21	105	3200	18460	397	1396	10242	455	2
12C	1	9	93	3200	19880	382	1333	10558	383	3
14C	1	17	95	3150	20945	411	1422	10150	403	10
15D	1	19	100	3150	20945	575	1291	9675	389	14
17D	1	15	105	3200	22365	465	1405	10437	432	13
19D	1	19	102	3200	19170	346	1215	10341	337	3
22D	1	19	107	3200	20590	453	1354	10285	464	7
23D	1	21	105	3100	20590	332	1273	10721	282	6
24D	1	19	100	3100	19170	462	1366	10079	419	2
25D	1	12	93	3200	18815	449	1433	10591	376	3
SR	1	17	95	2700	22010	427	1429	10469	415	10

TABLA 7 DE RESULTADOS IONES MAYORITARIOS
3º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD	CARBONATOS	BICARBONATOS	SULFATOS	CLORUROS	SODIO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	Error
	m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	(%)
3ª	40	12	83	3150	21655	12432	326	500	1706	6
5A	40	29	73	2950	20945	11664	415	374	1498	1
REF A	40	41	63	3150	21655	11485	348	365	1439	5
3B	20	17	84	3200	20945	11608	472	411	1598	2
5B	20	24	78	3250	21300	11622	392	398	1462	2
10A	20	38	81	3200	21300	11084	413	435	1396	6
12A	20	16	91	3200	20945	11693	414	464	1473	1
17A	20	21	78	3250	22010	12026	354	423	1360	3
19A	20	19	86	3000	21300	12503	414	406	1638	7
22A	20	31	78	3100	21655	11503	473	459	1378	4
23A	20	31	73	3100	21300	11302	379	381	1341	5
24A	20	24	85	3150	21655	11147	434	414	1443	6
25A	20	19	83	3120	21655	11530	394	420	1381	4
REF B	20	50	56	3050	20945	11173	350	381	1323	5
1A	10	46	79	3050	21300	11565	324	368	1428	3
2A	10	40	81	3250	21655	12076	382	468	1455	0
3C	10	19	81	3250	21300	11451	300	419	1487	3
4A	10	29	98	3050	21655	10621	489	456	1668	6
5C	10	31	68	3200	20235	10745	373	404	1325	5
6A	10	19	83	3100	21300	11670	419	423	1470	1
7A	10	17	85	3150	21300	11492	421	430	1459	2
8A	10	19	85	3150	21300	11339	392	409	1403	4
9A	10	24	102	2950	20945	11609	422	451	1546	2
10B	10	41	59	2800	20590	11490	370	434	1447	2
11A	10	28	104	3200	21300	11402	418	442	1429	3
12B	10	22	81	3200	20550	11890	442	453	1489	4
14A	10	32	94	3100	21655	11772	385	423	1529	1
15B	10	34	56	3150	21655	11660	373	388	1377	4

MUESTRA	PROFUNDIDAD	CARBONATOS	BICARBONATOS	SULFATOS	CLORUROS	SODIO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	Error
	m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	(%)
17B	10	19	73	3200	20945	11800	410	433	1415	1
19B	10	18	76	3150	20945	11691	330	338	1478	0
22B	10	36	81	3250	19880	11119	402	458	1306	1
23B	10	31	78	3150	21655	12472	445	311	1482	2
24B	10	19	79	3150	21655	11774	488	330	1370	3
25B	10	19	73	3200	20945	11553	378	411	1412	1
REFC	10	43	71	3000	21300	11652	365	382	1361	2
1B	5	43	89	3100	20590	12108	210	278	1270	1
2B	5	41	96	3200	20590	12107	383	468	1455	5
3D	5	18	87	2960	20945	10824	406	439	1390	5
4B	5	36	85	3100	21300	11446	417	441	1530	1
5D	5	36	81	3150	20945	10774	367	336	1278	9
6B	5	21	81	3150	20590	11935	440	449	1534	5
7B	5	22	83	3150	20945	11348	404	437	1441	2
8B	5	20	81	3100	20945	11564	432	431	1437	0
9B	5	34	110	2950	20945	11404	409	480	1583	1
10C	5	34	78	3150	21300	11423	400	400	1398	4
11B	5	29	94	3050	21300	11569	357	373	1351	3
12C	5	17	83	3142	20945	11405	438	432	1429	1
14B	5	31	95	2950	20945	11439	365	371	1346	3
15C	5	29	88	2880	20945	11534	407	402	1420	0
17C	5	21	83	3150	21300	10919	398	424	1394	7
19C	5	21	85	3100	20235	11644	387	384	1382	2
22C	5	38	83	2900	20235	11466	408	431	1441	3
23C	5	36	88	3200	21300	11559	425	480	1463	1
24C	5	18	91	3200	20945	11960	436	409	1482	2
25C	5	16	90	3150	21300	11358	400	478	1432	3
REF D	5	36	66	3200	20945	11537	359	454	1408	1
1C	1	36	98	2950	20590	11902	293	365	1470	3
2C	1	36	92	3200	21300	11248	585	237	1538	4
3E	1	20	89	3100	20945	11019	425	409	1387	5

MUESTRA	PROFUNDIDAD	CARBONATOS	BICARBONATOS	SULFATOS	CLORUROS	SODIO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	Error
	m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	(%)
4C	1	26	92	2900	22010	11496	415	435	1470	4
5E	1	48	59	3200	20590	10667	311	304	1274	9
6C	1	21	86	3200	21300	11416	398	416	1420	3
7C	1	25	68	3150	21300	11675	426	438	1431	1
8C	1	21	67	3050	21300	11359	367	449	1418	3
9C	1	32	89	3150	21300	11639	455	413	1632	1
10D	1	46	61	3200	19880	11336	359	372	1334	1
11C	1	29	92	3100	21300	11491	410	450	1448	2
12D	1	21	77	3150	20945	11553	442	434	1478	0
14C	1	35	93	3100	20590	11604	324	335	1460	1
15D	1	31	71	3200	20235	10831	359	360	1281	5
17D	1	26	70	3150	20945	11569	394	390	1490	0
19D	1	18	90	3150	21300	12252	431	382	1478	3
22D	1	46	68	3200	20945	11811	454	440	1456	1
23D	1	34	78	2900	20550	11513	391	485	1454	2
24D	1	18	77	3200	20945	11875	455	414	1475	2
25D	1	21	85	3200	21300	11789	351	396	1370	2
REF E	1	31	81	3250	20945	11444	431	436	1467	1
SR	1	30	88	3150	20945	12840	424	512	1460	9

TABLA 8 DE RESULTADOS IONES MAYORITARIOS
4º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD m	CARBONATOS mg/l	BICARBONATOS mg/l	SULFATOS mg/l	CLORUROS mg/l	SODIO mg/l	POTASIO mg/l	CALCIO mg/l	MAGNESIO mg/l	Error (%)
3A	40	36	127	3000	20945	11501	408	426	1405	1
3B	20	36	117	2850	20945	11556	411	437	1428	0
12A	20	34	112	2900	20945	11572	425	419	1408	0
17A	20	38	117	2700	21300	11388	443	421	1354	3
1A	10	38	110	2900	21300	11410	411	422	1403	3
2A	10	38	124	3000	21655	11511	428	414	1409	4
3C	10	38	98	2900	21300	11716	418	418	1414	1
4A	10	38	120	2900	21655	11355	421	441	1415	4
6A	10	31	134	2700	21300	11547	391	443	1438	1
9A	10	24	146	3100	21300	11299	399	431	1415	4
11A	10	46	122	2800	20945	11264	410	412	1413	2
12B	10	34	110	3150	21300	11228	410	405	1370	5
17B	10	41	122	2900	20945	11415	448	415	1344	2
1B	5	36	112	3200	21300	11407	396	414	1408	4
2B	5	38	110	3000	21300	11617	408	422	1376	2
3D	5	36	122	3100	20590	11407	415	426	1416	0
4B	5	34	122	3100	21655	11276	406	425	1401	6
6B	5	34	132	3000	21300	11797	407	423	1411	0
9B	5	38	124	2800	20590	11139	411	437	1386	1
11B	5	29	122	2800	21300	11228	402	391	1365	5
12C	5	46	112	3100	21300	11182	415	433	1407	5
17C	5	36	122	3100	21300	11546	414	421	1388	3

MUESTRA	PROFUNDIDAD	CARBONATOS	BICARBONATOS	SULFATOS	CLORUROS	SODIO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	Error
	m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	(%)
1C	1	31	115	3000	20235	11159	426	405	1364	1
2C	1	34	124	3000	20590	11351	422	409	1329	2
3E	1	38	120	2900	20590	11530	398	401	1364	0
4C	1	31	124	2700	21300	11209	421	426	1402	3
6C	1	34	132	3100	21655	11746	416	441	1426	2
9C	1	36	122	3100	20945	11246	395	414	1379	3
11C	1	31	120	2800	21154	11200	414	415	1347	4
12D	1	29	112	2800	20945	11266	439	452	1408	2
17D	1	36	122	2900	20945	11435	407	436	1383	1

TABLA 9 DE RESULTADOS METALES
1º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD m	Hg (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (mg/l)	Pb (µg/l)	Zn (mg/l)
REF A	40	0,42	0,43	37,6	0,02	20,2	0,03
REF B	20	0,24	0,30	19,2	0,02	8,70	0,00
3B	20	7,29	6,70	80,5	0,04	15,7	0,04
15A	20	0,31	0,40	12,9	0,07	3,10	0,02
17A	20	0,23	0,40	14,0	0,02	3,70	0,02
22A	20	0,72	0,30	23,0	0,11	4,90	0,02
24A	20	6,12	0,20	34,8	0,11	6,40	0,03
1A	10	0,25	14,3	19,7	0,04	6,10	0,24
2A	10	12,0	6,60	27,2	0,05	5,50	0,14
3C	10	2,41	0,40	20,0	0,02	106	0,02
4A	10	0,21	15,7	21,6	0,08	6,70	0,25
6A	10	0,11	0,70	18,6	0,04	2,60	0,03
7A	10	0,33	0,60	19,1	0,06	4,50	0,03
8A	10	0,40	0,40	19,8	0,04	3,40	0,02
9A	10	1,30	0,40	23,6	0,06	4,50	0,02
11A	10	0,26	0,50	16,1	0,05	3,90	0,02
12A	10	0,25	0,80	11,3	0,02	0,50	0,02
14A	10	0,51	2,50	18,0	0,03	96,0	0,06
15B	10	0,28	0,40	29,8	0,05	2,30	0,02
17B	10	0,70	0,20	19,9	0,02	3,10	0,02
22B	10	0,46	0,30	23,5	0,06	6,30	0,02
24B	10	0,54	0,23	29,1	0,03	6,80	0,07
1B	5	1,58	12,3	16,6	0,07	6,50	0,25
2B	5	0,27	11,6	22,9	0,07	7,80	0,21
4B	5	4,27	14,6	18,2	0,07	18,0	0,24
6B	5	0,16	5,50	14,1	0,11	2,60	0,10
7B	5	1,01	5,30	13,8	0,06	6,00	0,11

MUESTRA	PROFUNDIDAD m	Hg (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (mg/l)	Pb (µg/l)	Zn (mg/l)
8B	5	1,08	3,90	116	0,07	7,40	0,04
9B	5	0,24	0,60	19,4	0,05	4,20	0,02
11B	5	1,39	0,23	18,9	0,04	3,40	0,01
12B	5	4,84	0,60	17,3	0,10	3,50	0,02
14B	5	0,26	3,30	18,8	0,06	2,90	0,06
REF C	1	0,82	0,30	32,3	0,02	11,8	0,04
1C	1	0,65	9,50	19,8	0,08	7,40	0,17
2C	1	17,2	11,7	17,6	0,05	6,30	0,18
3D	1	0,78	0,60	17,7	0,12	2,00	0,02
4C	1	0,64	16,0	19,3	0,05	7,20	0,33
6C	1	1,48	9,10	14,2	0,16	4,30	0,17
7C	1	1,75	0,80	12,6	0,07	4,60	0,02
8C	1	1,33	1,20	18,2	0,07	4,00	0,02
9C	1	0,57	1,40	24,7	0,05	5,70	0,03
11C	1	0,28	0,40	41,5	0,05	4,70	0,02
12C	1	1,63	2,00	37,0	0,05	4,00	0,02
14C	1	3,59	3,80	31,9	0,05	3,20	0,06
15C	1	1,54	0,20	14,2	0,07	2,00	0,02
17C	1	0,45	0,20	17,1	0,04	2,90	0,02
22C	1	0,72	0,30	209	0,03	9,80	0,07
24C	1	1,20	0,40	17,1	0,22	2,90	0,01

TABLA 10 DE RESULTADOS METALES
2º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	Hg (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (mg/l)	Pb ((µg/l)	Zn (mg/l)
REF B	20	-	0,60	20,9	0,07	1,68	0,03
3B	20	-	0,34	15,5	0,09	1,47	0,02
5B	20	-	0,38	19,5	0,02	1,39	0,01
17A	20	-	1,64	50,3	0,33	2,77	0,27
19A	20	-	0,59	17,3	0,15	2,13	0,02
23A	20	-	0,36	14,5	0,02	1,37	0,02
24A	20	-	0,33	17,9	0,08	1,53	0,02
25A	20	-	0,41	10,9	0,02	2,43	0,32
REF C	10	-	0,75	21,0	0,02	1,93	0,02
1A	10	-	6,33	21,3	0,05	2,14	0,13
2A	10	-	3,33	19,9	0,17	4,58	0,23
3C	10	-	0,54	12,3	0,02	1,86	0,02
4A	10	-	10,8	17,0	0,10	3,71	0,21
5C	10	-	1,51	31,6	0,06	1,40	0,02
6A	10	-	0,49	14,8	0,09	2,03	0,04
7A	10	-	0,44	14,4	0,02	1,85	0,02
8A	10	-	0,76	90,8	0,02	3,61	0,02
9A	10	-	0,54	13,5	0,05	2,84	0,03
10B	10	-	0,50	22,0	0,08	1,61	0,02
11A	10	-	0,45	16,0	0,07	1,92	0,21
12A	10	-	0,42	127	0,08	5,09	0,22
14A	10	-	0,51	33,0	0,10	2,19	0,03
15B	10	-	0,37	33,0	0,11	1,37	0,02
17B	10	-	0,63	10,4	0,08	2,25	0,02
19B	10	-	2,21	59,2	0,14	3,23	0,03
22B	10	-	0,42	13,6	0,08	1,67	0,02
23B	10	-	0,47	27,4	0,13	2,56	0,03

PROFUNDIDAD		Hg (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (mg/l)	Pb ((µg/l)	Zn (mg/l)
MUESTRA	(m)						
24B	10	-	1,35	18,1	0,12	2,25	0,47
25B	10	-	0,78	13,3	0,02	2,79	0,02
REF D	5	-	0,50	17,7	0,02	2,08	0,03
1B	5	-	5,62	24,9	0,10	1,89	0,06
2B	5	-	2,18	16,9	0,02	4,24	0,22
3D	5	-	1,16	52,9	0,06	3,22	0,04
4B	5	-	3,49	9,00	0,08	2,80	0,22
5D	5	-	0,79	17,9	0,02	1,38	0,03
6B	5	-	1,46	13,5	0,08	2,48	0,09
7B	5	-	0,39	25,9	0,67	2,15	0,03
8B	5	-	0,57	13,5	0,04	4,20	0,41
9B	5	-	0,27	21,1	0,02	2,64	0,02
10C	5	-	0,46	24,8	0,02	2,00	0,02
11B	5	-	0,56	29,0	0,02	1,09	0,27
12B	5	-	0,89	41,2	0,15	2,59	0,38
14B	5	-	0,57	31,5	0,06	1,84	0,05
15C	5	-	0,56	22,3	0,08	2,30	0,02
17C	5	-	0,72	21,8	0,10	4,43	0,02
19C	5	-	0,55	18,2	0,13	2,20	0,03
22C	5	-	0,56	9,90	0,02	1,35	0,02
23C	5	-	0,36	36,0	0,08	2,12	0,03
24C	5	-	0,24	14,1	0,11	2,80	0,02
25C	5	-	1,23	33,1	0,21	4,91	0,53
REF E	1	-	0,43	17,4	0,09	1,26	0,02
1C	1	-	9,46	25,6	0,02	3,28	0,13
2C	1	-	14,4	26,7	0,08	3,53	0,29
3E	1	-	0,43	18,8	0,20	2,22	0,02
4C	1	-	3,65	39,9	0,09	4,03	0,31
5E	1	-	0,83	11,7	0,02	2,02	0,02
6C	1	-	1,07	9,75	0,24	2,23	0,13

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	Hg (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (mg/l)	Pb ((µg/l)	Zn (mg/l)
7C	1	-	0,39	17,2	0,07	3,21	0,05
8C	1	-	0,30	10,3	0,05	3,75	0,36
9C	1	-	1,10	32,1	0,09	2,15	0,24
10D	1	-	1,40	23,9	0,15	1,36	0,02
11C	1	-	0,43	19,7	0,15	1,56	0,24
12C	1	-	0,93	33,9	0,10	1,49	0,37
14C	1	-	0,91	23,4	0,02	2,42	0,07
15D	1	-	0,61	33,5	0,02	1,48	0,05
17D	1	-	0,56	25,0	0,08	1,90	0,04
19D	1	-	0,45	14,9	0,11	1,88	0,03
22D	1	-	0,54	24,1	0,10	1,75	0,02
23D	1	-	0,46	25,8	0,10	1,44	0,03
24D	1	-	0,29	10,2	0,09	1,20	0,01
25D	1	-	1,02	83,7	0,10	5,16	0,56
SR	1	-	1,42	21,2	0,12	4,88	0,20

TABLA 11 DE RESULTADOS METALES
3º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	Hg (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (mg/l)	Pb (µg/l)	Zn (mg/l)
3A	40	-	0,71	24,8	0,220	1,69	0,01
5A	40	-	0,86	133,8	0,220	3,06	0,02
REF A	40	-	1,10	22,5	0,018	1,35	0,02
3B	20	-	0,53	35,8	0,221	1,34	0,01
5B	20	-	1,10	17,9	0,034	2,21	0,02
10A	20	-	0,84	17,8	0,206	2,73	0,02
12A	20	-	0,58	58,2	0,006	2,32	0,01
17A	20	-	0,58	49,5	0,039	1,76	0,01
19A	20	-	0,55	20,5	0,025	2,05	0,01
22A	20	-	1,00	87,2	0,034	4,12	0,02
23A	20	-	1,35	52,7	0,073	9,27	0,01
24A	20	-	0,54	18,3	0,021	1,03	0,01
25A	20	-	0,74	16,0	0,007	1,64	0,01
REF B	20	-	4,52	24,2	0,013	7,19	0,01
1A	10	-	0,96	81,8	0,087	3,04	0,02
2A	10	-	0,96	96,7	0,097	8,22	0,02
3C	10	-	0,69	24,1	0,149	3,52	0,01
4A	10	-	0,64	27,8	0,043	7,53	0,02
5C	10	-	1,08	36,1	0,355	1,37	0,01
6A	10	-	1,43	96,2	0,134	5,34	0,01
7A	10	-	1,15	9,14	0,005	1,65	0,01
8A	10	-	0,66	52,3	0,042	3,43	0,01
9A	10	-	1,16	23,0	0,307	2,38	0,02
10B	10	-	0,53	32,3	0,021	6,42	0,01
11A	10	-	0,83	18,5	0,009	3,13	0,01
12B	10	-	1,12	18,6	0,007	2,74	0,01
14A	10	-	0,65	62,0	0,005	-	0,01

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	Hg (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (mg/l)	Pb (µg/l)	Zn (mg/l)
15B	10	-	0,79	13,0	0,018	2,60	0,01
17B	10	-	1,08	46,6	0,020	3,97	0,02
19B	10	-	0,71	22,7	0,030	1,88	0,01
22B	10	-	8,93	46,3	0,014	12,7	0,02
23B	10	-	0,93	20,7	0,007	2,40	0,01
24B	10	-	0,72	19,4	0,013	1,06	0,01
25B	10	-	0,73	60,5	0,098	7,60	0,02
REFC	10	-	4,78	25,4	0,040	1,87	0,01
1B	5	-	0,64	24,4	0,242	2,11	0,02
2B	5	-	1,19	55,9	0,243	1,19	0,02
3D	5	-	1,03	29,7	0,085	1,51	0,01
4B	5	-	1,11	110	0,040	5,74	0,03
5D	5	-	0,98	30,8	0,008	1,15	0,02
6B	5	-	0,89	16,0	0,180	1,84	0,01
7B	5	-	0,55	24,0	0,006	1,52	0,01
8B	5	-	0,58	25,6	0,129	3,19	0,01
9B	5	-	1,22	24,7	0,405	3,00	0,01
10C	5	-	0,71	36,4	0,028	2,52	0,01
11B	5	-	1,09	40,7	0,005	2,35	0,01
12C	5	-	0,75	53,2	0,023	4,85	0,01
14B	5	-	1,12	59,7	0,014	3,37	0,01
15C	5	-	0,97	59,3	0,020	2,51	0,02
17C	5	-	0,86	75,2	0,043	3,80	0,01
19C	5	-	0,73	55,0	0,051	10,3	0,01
22C	5	-	5,83	20,8	0,011	1,90	0,01
23C	5	-	0,95	24,4	0,006	1,16	0,01
24C	5	-	0,60	24,5	0,012	1,90	0,04
25C	5	-	0,80	23,2	0,031	2,53	0,01
REF D	5	-	7,05	34,1	0,035	2,24	0,01

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	Hg (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (mg/l)	Pb (µg/l)	Zn (mg/l)
1C	1	-	0,93	21,8	0,396	2,03	0,03
2C	1	-	0,62	14,4	0,194	1,18	0,02
3E	1	-	0,60	113	0,338	4,26	0,01
4C	1	-	0,99	25,1	-	3,59	0,03
5E	1	-	0,94	32,9	0,092	4,27	0,01
6C	1	-	0,68	28,2	0,417	2,72	0,02
7C	1	-	1,51	42,0	0,003	3,42	0,01
8C	1	-	0,83	39,5	0,224	2,93	0,02
9C	1	-	0,76	28,9	0,017	2,14	0,02
10D	1	-	0,56	50,5	0,043	2,69	0,01
11C	1	-	1,14	157	0,010	15,6	0,01
12D	1	-	-	40,7	0,008	4,11	0,01
14C	1	-	0,77	55,6	0,046	12,2	0,02
15D	1	-	0,83	30,1	0,032	2,02	0,03
17D	1	-	3,20	114,8	0,167	16,8	0,02
19D	1	-	1,21	14,3	0,021	-	0,01
22D	1	-	7,19	42,0	0,006	8,21	0,01
23D	1	-	5,26	110	0,031	14,0	0,03
24D	1	-	1,44	72,7	0,041	6,59	0,02
25D	1	-	0,86	34,2	0,015	1,81	0,02
REF E	1	-	1,91	36,4	0,039	2,05	0,01
SR	1	-	1,20	21,5	-	1,80	0,04

TABLA 12 DE RESULTADOS METALES
4º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD. (m)	Hg (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (mg/l)	Pb (µg/l)	Zn (mg/l)
3A	40	-	0,100	13,6	0,004	1,68	0,01
3B	20	-	0,100	11,3	0,004	1,10	0,01
12A	20	-	0,100	11,3	0,008	0,81	0,01
17A	20	-	0,100	4,87	0,007	1,56	0,01
1A	10	-	1,05	42,7	0,023	7,49	0,07
2A	10	-	0,935	12,5	0,005	2,99	0,06
3C	10	-	0,100	13,4	0,008	0,81	0,01
4A	10	-	1,01	14,0	0,043	5,27	0,04
6A	10	-	0,813	11,4	0,044	3,55	0,02
9A	10	-	0,497	5,59	0,007	1,59	0,01
11A	10	-	0,448	4,23	0,008	0,90	0,01
12B	10	-	0,100	10,1	0,007	0,90	0,01
17B	10	-	0,100	7,80	0,006	1,40	0,01
1B	5	-	0,760	14,1	0,003	3,08	0,06
2B	5	-	0,724	16,9	0,004	3,23	0,01
3D	5	-	0,672	16,7	0,036	2,72	0,01
4B	5	-	0,729	8,37	0,007	3,86	0,01
6B	5	-	0,724	16,29	0,030	3,52	0,02
9B	5	-	0,100	9,95	0,005	1,90	0,01
11B	5	-	0,100	5,06	0,006	1,31	0,01
12C	5	-	0,100	7,57	0,005	0,91	0,01
17C	5	-	0,100	11,9	0,007	1,43	0,01

MUESTRA	PROFUNDIDAD. (m)	Hg (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (mg/l)	Pb (µg/l)	Zn (mg/l)
1C	1	-	0,938	31,7	0,045	7,35	0,06
2C	1	-	0,825	13,2	0,003	3,65	0,05
3E	1	-	0,100	7,41	0,006	1,34	0,01
4C	1	-	0,632	7,58	0,007	2,27	0,02
6C	1	-	0,637	11,2	0,006	2,15	0,01
9C	1	-	0,667	11,8	0,018	2,30	0,01
11C	1	-	0,100	4,85	0,007	0,84	0,01
12D	1	-	0,100	8,77	0,007	1,59	0,01
17D	1	-	0,100	8,40	0,006	0,83	0,01

TABLA 13 DE RESULTADOS NUTRIENTES Y HCT
1º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	AMONIO (mg/l)	NITRITOS (mg/l)	NITRATOS (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	HCT (mg/l)
REF A	40	1,61	0,010	5,30	0,00	-
REF B	20	1,43	0,020	5,30	0,56	-
3B	20	1,05	0,030	4,40	0,55	-
15A	20	2,62	0,020	15,0	0,02	-
17A	20	1,05	0,020	4,80	0,04	-
22A	20	1,68	0,030	4,00	0,00	-
24A	20	1,52	0,000	0,40	2,17	-
1A	10	0,56	0,010	4,00	0,01	-
2A	10	0,68	0,020	4,00	0,03	-
3C	10	0,32	0,010	4,40	0,11	-
4A	10	1,59	0,010	2,60	0,05	-
6A	10	0,83	0,010	6,20	0,00	-
7A	10	1,28	0,010	7,90	0,15	-
8A	10	0,76	0,070	3,50	0,08	-
9A	10	0,62	0,010	4,00	0,53	-
11A	10	1,19	0,010	3,50	0,00	-
12A	10	1,30	0,010	2,60	0,18	-
14A	10	1,46	0,000	1,30	0,04	-
15B	10	1,53	0,020	4,80	0,00	-
17B	10	1,51	0,030	4,00	0,07	-
22B	10	1,44	0,030	4,40	0,04	-
24B	10	1,78	0,020	5,30	0,15	-
1B	5	0,78	0,010	1,30	0,16	-
2B	5	0,90	0,020	3,50	0,00	-
4B	5	1,32	0,030	7,00	0,06	-
6B	5	1,48	0,020	5,70	0,04	-
7B	5	1,48	0,010	3,50	0,04	-

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	AMONIO (mg/l)	NITRITOS (mg/l)	NITRATOS (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	HCT (mg/l)
8B	5	1,32	0,020	4,80	0,16	-
9B	5	1,58	0,020	3,50	0,04	-
11B	5	1,56	0,020	3,50	0,05	-
12B	5	1,25	0,020	4,40	0,00	-
14B	5	1,70	0,020	5,70	0,06	-
REF C	1	1,71	0,010	8,80	0,17	-
1C	1	0,92	0,020	4,00	0,04	0,18
2C	1	0,72	0,960	0,00	-	0,20
3D	1	1,05	0,020	4,00	0,02	0,10
4C	1	1,25	0,020	6,20	0,01	0,12
6C	1	1,42	0,020	3,50	0,03	0,12
7C	1	1,38	0,000	0,90	0,59	0,15
8C	1	1,72	0,030	4,00	0,06	0,13
9C	1	1,16	0,020	4,80	0,15	0,17
11C	1	1,16	0,060	5,70	0,00	-
12C	1	1,35	0,010	2,60	0,28	0,12
14C	1	1,68	0,010	5,70	0,07	-
15C	1	1,32	0,020	4,40	0,00	0,13
17C	1	1,23	0,020	3,10	0,00	0,20
22C	1	1,10	0,020	9,70	0,52	0,15
24C	1	1,03	0,020	4,00	0,00	0,16

TABLA 14 DE RESULTADOS NUTRIENTES Y HCT
2º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	AMONIO (mg/l)	NITRITOS (mg/l)	NITRATOS (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	HCT (mg/l)
REF B	20	0,71	0,000	1,30	0,03	
3B	20	0,98	0,010	3,50	0,01	
5B	20	0,77	0,017	4,80	0,01	
17A	20	0,90	0,007	4,00	0,01	
19A	20	0,77	0,100	3,50	0,04	
23A	20	0,88	0,003	3,10	0,06	
24A	20	0,86	0,003	3,10	0,07	
25A	20	0,88	0,013	4,00	0,02	
REF C	10	0,95	0,003	1,80	0,04	
1A	10	0,58	0,007	3,50	0,06	
2A	10	0,65	0,013	4,00	0,02	
3C	10	0,69	0,010	5,30	0,06	
4A	10	0,75	0,010	4,80	0,04	
5C	10	0,83	0,010	5,30	0,04	
6A	10	0,73	0,017	4,40	0,07	
7A	10	0,65	0,100	1,30	0,05	
8A	10	0,72	0,020	6,20	0,02	
9A	10	0,72	0,007	4,80	0,01	
10B	10	0,94	0,003	3,10	0,04	
11A	10	0,71	0,007	4,00	0,06	
12A	10	0,92	0,003	3,50	0,03	
14A	10	0,77	0,007	1,30	0,07	
15B	10	0,82	0,010	1,30	0,02	
17B	10	0,83	0,007	5,30	0,02	
19B	10	0,78	0,017	3,50	0,07	
22B	10	0,81	0,010	4,00	0,04	
23B	10	0,81	0,010	3,10	0,02	

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	AMONIO (mg/l)	NITRITOS (mg/l)	NITRATOS (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	HCT (mg/l)
24B	10	0,95	0,013	4,40	0,07	
25B	10	0,63	0,017	3,10	0,02	
REF D	5	0,85	0,007	3,90	0,02	
1B	5	0,73	0,010	5,70	0,06	
2B	5	0,59	0,007	3,50	0,04	
3D	5	0,68	0,010	3,90	0,06	
4B	5	0,81	0,020	4,00	0,01	
5D	5	0,86	0,003	3,10	0,05	
6B	5	0,62	0,100	2,20	0,04	
7B	5	1,06	0,007	3,50	0,01	
8B	5	0,75	0,007	4,00	0,07	
9B	5	0,76	0,010	5,30	0,04	
10C	5	1,24	0,003	4,40	0,10	
11B	5	0,66	0,007	4,00	0,00	
12B	5	0,84	0,007	3,10	0,06	
14B	5	0,68	0,003	1,80	0,05	
15C	5	1,12	0,023	4,00	0,05	
17C	5	0,99	0,007	3,10	0,04	
19C	5	0,83	0,013	4,00	0,03	
22C	5	0,87	0,007	4,00	0,07	
23C	5	0,84	0,003	2,60	0,03	
24C	5	0,85	0,003	4,80	0,03	
25C	5	0,80	0,013	4,00	0,01	

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	AMONIO (mg/l)	NITRITOS (mg/l)	NITRATOS (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	HCT (mg/l)
REF E	1	0,84	0,020	4,40	0,00	0,10
1C	1	0,65	0,003	2,60	0,05	0,14
2C	1	0,77	0,010	4,00	0,04	0,08
3E	1	0,73	0,007	3,50	0,05	0,05
4C	1	0,36	0,017	5,70	0,04	0,50
5E	1	0,81	0,007	4,80	0,04	0,13
6C	1	0,98	0,017	3,10	0,07	0,06
7C	1	0,62	0,000	0,00	0,06	0,08
8C	1	0,80	0,007	4,80	0,20	0,20
9C	1	0,81	0,013	6,20	0,02	0,08
10D	1	0,84	0,007	1,80	0,06	0,11
11C	1	0,63	0,003	1,80	0,06	0,10
12C	1	0,83	0,013	3,50	0,00	0,05
14C	1	0,81	0,007	3,90	0,07	0,06
15D	1	0,70	0,007	4,40	0,03	0,08
17D	1	0,83	0,013	4,40	0,04	0,10
19D	1	0,78	0,100	4,80	0,05	0,09
22D	1	0,76	0,007	4,00	0,03	0,10
23D	1	0,98	0,010	2,60	0,03	0,08
24D	1	0,89	0,010	4,40	0,07	0,01
25D	1	0,83	0,013	3,50	0,05	0,05
SR	1	0,70	0,017	4,40	0,05	0,07

TABLA 15 DE RESULTADOS NUTRIENTES Y HCT
3º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	AMONIO (mg/l)	NITRITOS (mg/l)	NITRATOS (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	HCT (mg/l)
3A	40	0,87	0,007	4,40	0,09	
5A	40	0,77	0,003	4,84	0,00	
REF A	40	0,86	0,003	2,64	0,00	
3B	20	0,83	0,013	3,08	0,05	
5B	20	0,78	0,013	7,92	0,02	
10A	20	0,85	0,020	5,72	0,00	
12A	20	0,83	0,007	4,40	0,03	
17A	20	0,91	0,017	4,84	0,11	
19A	20	0,86	0,007	5,72	0,05	
22A	20	0,86	0,010	4,40	0,00	
23A	20	0,78	0,010	7,04	0,08	
24A	20	10,1	0,013	5,28	0,07	
25A	20	0,85	0,007	4,84	0,06	
REF B	20	0,84	0,020	2,20	0,06	
1A	10	0,79	0,003	6,60	0,14	
2A	10	0,77	0,007	6,60	0,07	
3C	10	0,77	0,017	5,28	0,10	
4A	10	0,66	0,013	5,28	0,06	
5C	10	0,72	0,010	5,28	0,00	
6A	10	0,76	0,003	3,08	0,00	
7A	10	0,77	0,010	5,28	0,03	
8A	10	0,83	0,013	4,84	0,02	
9A	10	0,79	0,010	5,28	0,04	
10B	10	0,88	0,010	5,72	0,00	
11A	10	0,71	0,013	4,40	0,00	
12B	10	0,76	0,013	4,40	0,08	
14A	10	0,83	0,017	5,72	0,04	

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	AMONIO (mg/l)	NITRITOS (mg/l)	NITRATOS (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	HCT (mg/l)
15B	10	0,85	0,007	0,44	0,00	
17B	10	0,63	0,017	6,16	0,14	
19B	10	0,83	0,013	6,16	0,07	
22B	10	0,80	0,003	7,04	0,15	
23B	10	0,88	0,030	6,16	0,68	
24B	10	0,79	0,013	7,04	0,07	
25B	10	0,71	0,007	5,28	0,08	
REFC	10	10,1	0,003	1,76	0,00	
1B	5	0,83	0,007	7,48	0,04	
2B	5	0,77	0,007	6,16	0,03	
3D	5	0,86	0,000	5,72	0,10	
4B	5	0,77	0,003	3,96	0,08	
5D	5	0,76	0,007	4,40	0,00	
6B	5	0,78	0,003	4,84	0,04	
7B	5	0,79	0,003	3,96	0,00	
8B	5	0,75	0,003	3,52	0,00	
9B	5	0,82	0,003	2,64	0,08	
10C	5	0,82	0,013	4,84	0,00	
11B	5	0,83	0,020	5,28	0,01	
12C	5	0,79	0,003	5,28	0,04	
14B	5	0,78	0,010	5,72	0,02	
15C	5	0,81	0,013	1,76	0,00	
17C	5	0,81	0,007	2,64	0,02	
19C	5	0,79	0,013	7,04	0,05	
22C	5	0,81	0,017	7,04	0,08	
23C	5	0,88	0,013	5,72	0,09	
24C	5	0,76	0,010	7,04	0,05	
25C	5	0,86	0,013	2,20	0,09	
REF D	5	0,86	0,013	2,20	0,55	

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	AMONIO (mg/l)	NITRITOS (mg/l)	NITRATOS (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	HCT (mg/l)
1C	1	078	0,013	6,16	0,18	0,27
2C	1	078	0,010	4,84	0,06	0,56
3E	1	077	0,003	4,84	0,11	0,17
4C	1	085	0,017	5,72	0,06	0,14
5E	1	097	0,017	5,72	0,00	0,16
6C	1	076	0,010	4,40	0,07	0,09
7C	1	083	0,013	5,72	0,03	0,09
8C	1	072	0,010	5,72	0,09	0,10
9C	1	082	0,013	4,84	0,03	0,01
10D	1	069	0,013	5,72	0,00	0,10
11C	1	087	0,017	5,28	0,00	0,03
12D	1	073	0,007	3,08	0,07	0,03
14C	1	080	0,013	6,16	0,02	0,20
15D	1	1,00	0,007	2,64	0,00	0,21
17D	1	076	0,007	5,72	0,02	0,07
19D	1	096	0,007	4,40	0,05	0,03
22D	1	084	0,010	6,60	0,02	0,12
23D	1	081	0,003	3,52	0,17	0,08
24D	1	072	0,010	6,16	0,09	0,09
25D	1	077	0,000	6,60	0,16	0,07
REF E	1	0,00	0,000	7,00	0,12	0,06
SR	1	0,72	0,017	5,28	0,04	0,24

TABLA 16 DE RESULTADOS NUTRIENTES Y HCT
4º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	AMONIO (mg/l)	NITRITOS (mg/l)	NITRATOS (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	HCT (mg/l)
3A	40	0,85	0,003	4,84	0,01	-
3B	20	1,10	0,003	3,96	0,01	-
12A	20	0,89	0,030	6,16	0,00	-
17A	20	0,96	0,000	1,76	0,00	-
1A	10	0,78	0,020	9,24	0,01	-
2A	10	0,76	0,023	5,28	0,00	-
3C	10	0,86	0,000	0,00	0,00	-
4A	10	1,03	0,023	3,52	0,01	-
6A	10	0,93	0,003	3,96	0,01	-
9A	10	0,99	0,020	6,16	0,03	-
11A	10	0,85	0,013	2,20	0,00	-
12B	10	0,90	0,023	3,96	0,03	-
17B	10	0,79	0,000	4,40	0,01	-
1B	5	0,70	0,043	7,48	0,00	-
2B	5	0,75	0,026	1,76	0,01	-
3D	5	0,90	0,003	7,48	0,01	-
4B	5	0,82	0,036	-	0,00	-
6B	5	0,90	0,017	5,72	0,01	-
9B	5	0,83	0,003	0,88	0,02	-
11B	5	0,91	0,023	5,28	0,03	-
12C	5	0,79	0,020	3,96	0,01	-
17C	5	0,86	0,010	3,52	0,03	-

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	AMONIO (mg/l)	NITRITOS (mg/l)	NITRATOS (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	HCT (mg/l)
1C	1	0,81	0,040	5,28	0,00	0,22
2C	1	0,79	0,003	1,76	0,02	0,10
3E	1	0,70	0,003	1,76	0,01	0,25
4C	1	0,86	0,040	3,96	0,02	0,10
6C	1	0,88	0,010	7,48	0,02	0,23
9C	1	0,89	0,050	6,60	0,00	0,21
11C	1	0,82	0,013	5,72	0,00	0,10
12D	1	0,71	0,000	1,76	0,01	0,10
17D	1	0,74	0,010	6,16	0,00	0,10

TABLA 17 DE RESULTADOS METALES EN SEDIMENTOS
1º MUESTREO

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	Hg (mg/kg)
1	10	11,4
2	11	40,3
3	35	2,25
4	11	56,6
6	14	4,07
8	17	13,0
9	18	1,69
11	21	14,4
12	21	2,11
14	18	9,65
15	20	3,70
17	25	1,41
22	25	2,01

TABLA 18 DE RESULTADOS METALES y RELACIÓN C/N EN SEDIMENTOS
2º MUESTREO

MUESTRA	PROF(m)	Hg (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Co(mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/Kg)	Zr (mg/Kg)	Li (mg/Kg)	C/N
1	13	-	130	9,70	48,0	60,0	13,0	327	30,0	18,0	70
2	13	-	135	11,0	46,0	283	14,0	1715	25,0	23,0	54
3	45	2,39	211	18,0	51,0	58,0	19,0	420	34,0	35,0	49
4	13	-	181	14,0	56,0	238	17,0	1671	28,0	22,0	52
6	17	-	125	14,0	52,0	247	16,0	1912	23,0	24,0	48
7	14	-	145	12,0	33,0	65,0	12,0	500	22,0	21,0	65
8	21	-	170	22,0	29,0	605	< 5,00	2135	21,0	19,0	81
9	17	3,01	89,0	13,0	33,0	205	10,0	1366	20,0	18,0	88
10	29	-	202	15,0	52,0	69,0	20,0	313	24,0	26,0	51
11	15	-	90,0	9,90	23,0	248	8,10	718	15,0	18,0	96
12	29	2,37	131	13,0	34,0	133	16,0	493	19,0	19,0	85
14	22	6,71	193	13,0	43,0	91,0	13,0	505	21,0	21,0	60
15	22	-	161	12,0	42,0	47,0	13,0	302	18,0	20,0	67

MUESTRA	PROF(m)	Hg (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Co(mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/Kg)	Zr (mg/Kg)	Li (mg/Kg)	C/N
17	30	2,95	123	13,0	32,0	148	12,0	506	18,0	21,0	86
19	39	-	273	19,0	59,0	87,0	19,0	684	40,0	34,0	46
22	32	3,15	279	18,0	82,0	84,0	24,0	501	37,0	30,0	56
23	34	-	164	17,0	114	82,0	22,0	481	28,0	25,0	57
24	42	-	156	19,0	102	95,0	26,0	595	35,0	26,0	68
25	35	-	168	24,0	55,0	89,0	23,0	517	35,0	22,0	74

**TABLA 19 DE RESULTADOS METALES y RELACIÓN C/N EN SEDIMENTOS
3º MUESTREO**

MUESTRA	PROF(m)	Hg (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Co(mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/Kg)	Zr (mg/Kg)	Li (mg/Kg)	C/N
1	13	-	126	13,0	59,0	138,00	23,0	1002	27,0	21,0	64
2	13	-	161	9,70	62,0	402,00	15,0	2386	32,0	36,0	52
3	45	-	288	19,0	54,0	63,00	22,0	348	35,0	34,0	49
4	13	-	276	10,0	72,0	350,00	18,0	4305	37,0	27,0	54
6	17	-	168	10,0	49,0	75,00	12,0	391	32,0	20,0	72
7	14	-	158	9,50	27,0	60,00	8,60	356	23,0	19,0	66
8	21	-	324	28,0	36,0	722,00	<5,00	3623	34,0	20,0	52
9	17	-	98,0	9,40	27,0	146,00	7,60	792	20,0	17,0	78
10	29	-	225	15,0	47,0	62,00	18,0	329	31,0	30,0	51
11	15	-	28,0	<5,00	17,0	50,00	5,70	959	23,0	18,0	110
14	22	-	74,0	6,80	45,0	52,00	12,0	179	13,0	17,0	97
15	22	-	91,0	7,50	33,0	55,00	9,90	258	21,0	20,0	87

MUESTRA	PROF(m)	Hg (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Co(mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/Kg)	Zr (mg/Kg)	Li (mg/Kg)	C/N
17	30	-	88,0	8,60	56,0	69,0	20,0	238	25,0	19,0	74
19	39	-	175	12,0	32,0	60,0	12,0	315	25,0	31,0	63
22	32	-	158	13,0	110	55,0	18,0	328	23,0	24,0	55
23	34	-	92,0	10,0	40,0	38,0	10,0	218	18,0	22,0	84
24	42	-	130	15,0	43,0	70,0	14,0	387	27,0	22,0	74
25	35	-	205	35,0	40,0	31,0	33,0	70,0	35,0	12,0	101
REF	51	-	177	15,0	46,0	57,0	15,0	456	29,0	28,0	57

TABLA 20 DE RESULTADOS METALES y RELACIÓN C/N EN SEDIMENTOS
4º MUESTREO

MUESTRA	PROF(m)	Hg (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Co(mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/Kg)	Zr (mg/Kg)	Li (mg/Kg)	C/N
1	13	-	138	10,0	61,0	149	13,0	1019	30,0	21,0	65,0
2	13	-	168	9,00	86,0	453	18,0	3049	40,0	24,0	44,0
4	13	-	160	9,80	77,0	144	16,0	1457	30,0	28,0	66,0
6	17	-	158	8,30	120	39,0	18,0	249	36,0	17,0	72,0
9	17	-	82,0	9,50	39,0	142	8,40	776	20,0	20,0	74,0
11	15	-	120	13,0	48,0	326	10,0	1500	24,0	20,0	73,0
12	29	-	151	17,0	46,0	129	15,0	503	38,0	19,0	77,0
17	30	-	147	11,0	32,0	151	9,40	452	28,0	21,0	81,0

TABLA 21 DE RESULTADOS PAH's EN SEDIMENTOS ($\mu\text{g/Kg}$)
1º MUESTREO

MUESTRA	PROF(m)	Acenaftileno	Acenafteno	Fluoreno	Antraceno	Fenantreno	Pireno	Fluoranteno	Criseno	Dibenzo (a,h)antraceno	Benzo (g,h,i)perileno
1	10	12,0	0,00	3,00	22,0	7,00	32,0	30,0	24,0	9,00	23,0
2	11	10,0	3,00	5,00	17,0	6,00	22,0	18,0	17,0	7,00	20,0
3	35	10,0	1,00	4,00	23,0	6,00	38,0	35,0	30,0	10,0	28,0
4	11	126	8,00	15,0	215	109	414	378	246	65,0	269
6	14	14,0	33,0	15,0	49,0	12,0	80,0	68,0	60,0	18,0	49,0
8	17	3,00	0,00	2,00	7,00	2,00	8,00	7,00	6,00	3,00	6,00
9	18	0,00	3,00	2,00	8,00	2,00	12,0	11,0	7,00	3,00	5,00
11	21	8,00	0,00	2,00	6,00	2,00	7,00	7,00	7,00	3,00	9,00
12	21	0,00	2,00	3,00	7,00	3,00	5,00	4,00	2,00	2,00	2,00
14	18	0,00	0,00	1,00	4,00	1,00	6,00	5,00	3,00	2,00	2,00
15	20	1,00	25,0	14,0	53,0	13,0	38,0	28,0	12,0	3,00	5,00
17	25	0,00	1,00	2,00	6,00	2,00	5,00	4,00	2,00	1,00	1,00
22	25	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

TABLA 22 DE RESULTADOS PAH's EN SEDIMENTOS (µg/Kg)
3º MUESTREO

MUESTRA	PROF. (m)	Acenaftileno	Acenafteno	Fluoreno	Antraceno	Fenantreno	Pireno	Fluoranteno	Criseno	Dibenzo (a,h)antraceno	Benzo (g,h,i)perileno
1	13	0,00	0,00	1,00	4,00	1,00	4,00	3,00	2,00	1,00	1,00
2	13	0,00	1,00	2,00	4,00	1,00	3,00	2,00	1,00	1,00	1,00
3	45	0,00	0,00	1,00	5,00	1,00	6,00	5,00	2,00	1,00	2,00
4	13	12,0	9,00	8,00	44,0	9,00	69,00	1,00	69,0	23,0	75,0
6	17	0,00	0,00	1,00	4,00	1,00	6,00	5,00	2,00	1,00	1,00
7	14	0,00	0,00	0,00	3,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	1,00
8	21	0,00	0,00	1,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
9	17	0,00	0,00	0,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00
10	29	34,0	5,00	7,00	86,0	15,0	108	153	69,0	22,0	75,0

MUESTRA	PROF. (m)	Acenaftileno	Acenafteno	Fluoreno	Antraceno	Fenantreno	Pireno	Fluoranteno	Criseno	Dibenzo (a,h)antraceno	Benzo (g,h,i) perileno
11	15	3,00	1,00	3,00	32,0	4,00	66,0	41,0	16,0	4,00	9,00
11	15	3,00	1,00	3,00	32,0	4,00	66,0	41,0	16,0	4,00	9,00
14	22	95,0	31,0	30,0	205	75,0	257	357	165	16,0	93,0
15	22	24,0	4,00	9,00	105	17,0	342	0,00	67,0	15,0	41,0
17	30	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
19	39	3,00	1,00	2,00	16,0	3,00	19,0	0,00	6,00	2,00	3,00
22	32	43,0	4,00	7,00	88,0	15,0	245	200	90,0	26,0	81,0
23	34	16,0	6,00	8,00	59,0	7,00	0,00	47,0	37,0	10,0	32,0
24	41	37,0	10,0	14,0	188	38,0	458	291	102	61,0	173
25	35	0,00	0,00	1,00	9,00	7,00	7,00	5,00	2,00	2,00	2,00

ANEXO III

MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE PARÁMETROS ANALÍTICOS

Se representan en este Anexo III los mapas de distribución espacial de los parámetros analíticos determinados.

La representación de superficies de isoconcentración se realiza para cada muestreo y profundidad (1, 5, 10, 20 m) en cada uno de los parámetros determinados.

Para la realización de estos mapas se ha utilizado la aplicación GRID del programa Geomedia Profesional de la empresa Intergraph, licencia cedida por Intergraph mediante convenio para su uso en investigación.

Algunos de los mapas no han podido ser representados por no tener el programa informático suficientes datos para generar las superficies de isoconcentración del parámetro analizado.

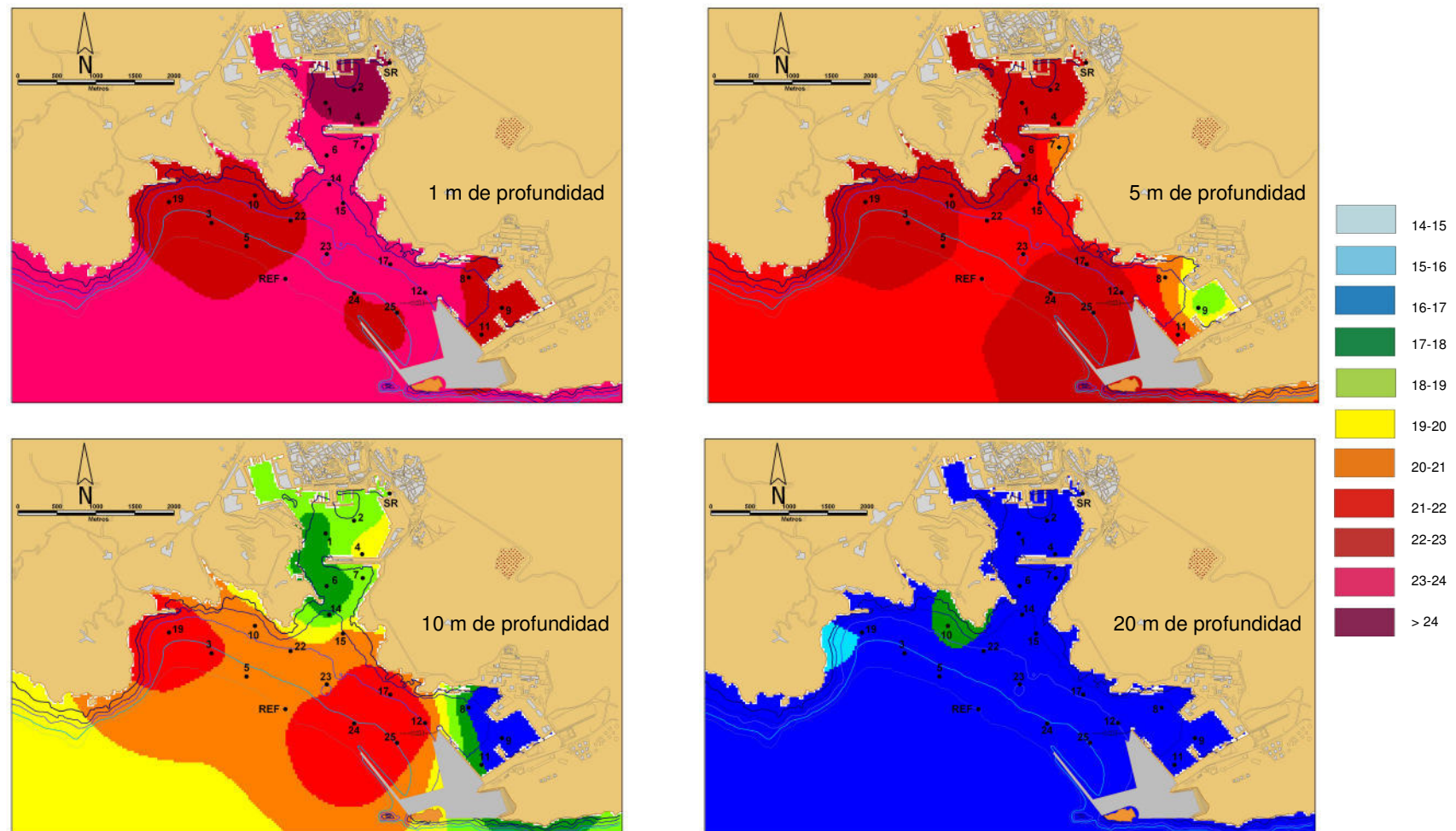


Figura 1. Mapas de distribución de temperatura (°C) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

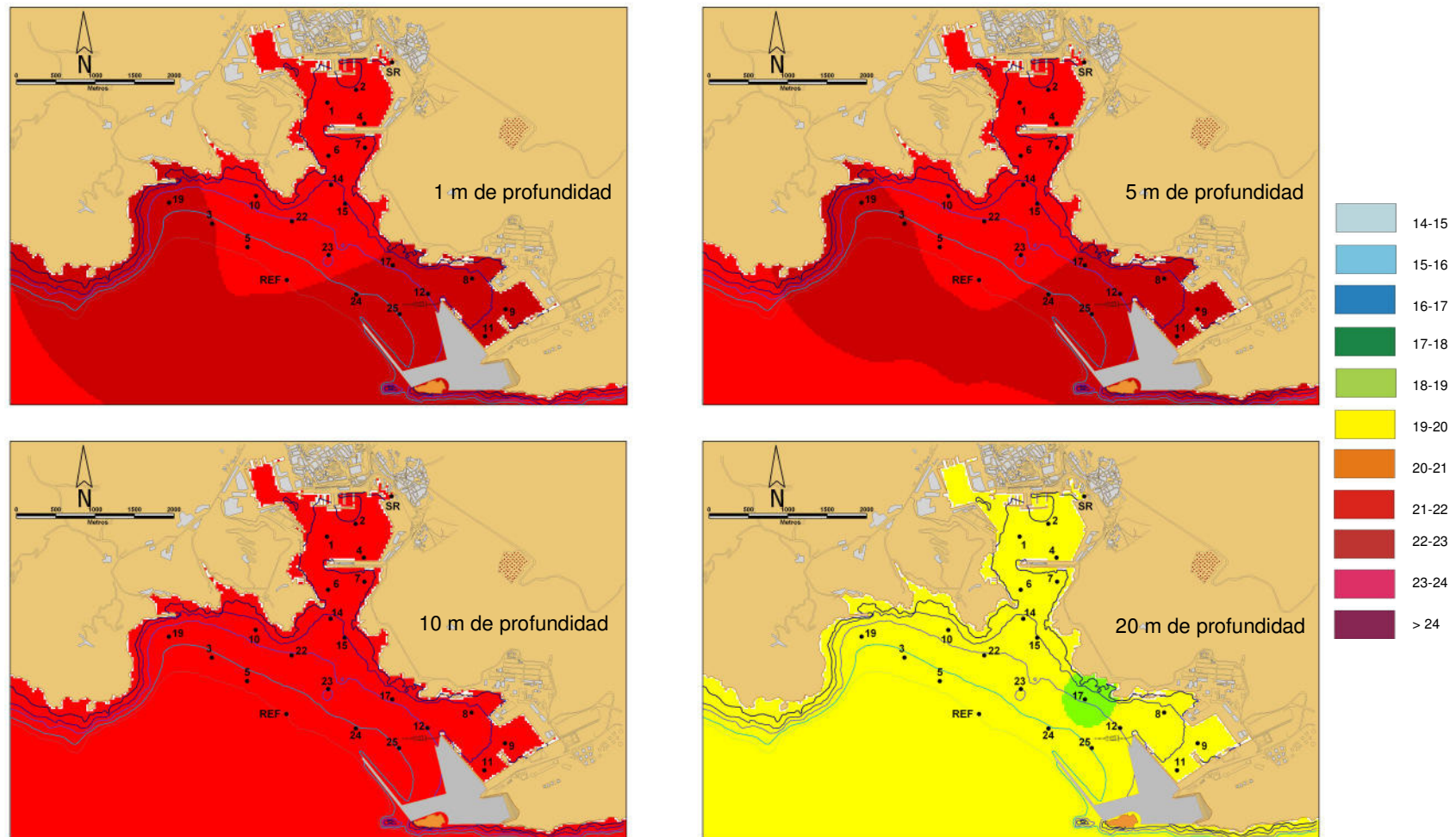


Figura 2. Mapas de distribución de temperatura (°C) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20m de profundidad

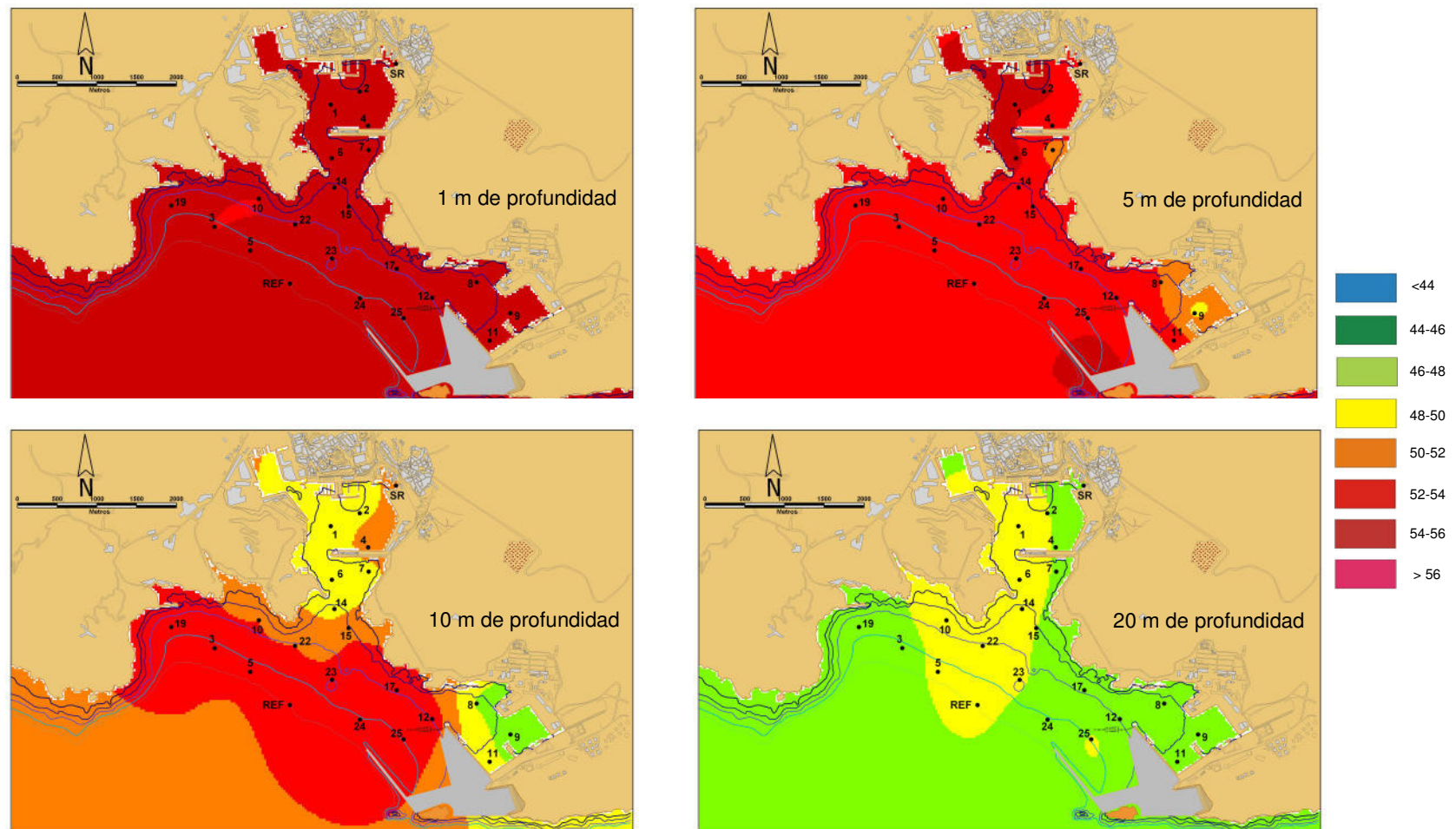


Figura 3. Mapas de distribución de C.E.(mS/cm) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

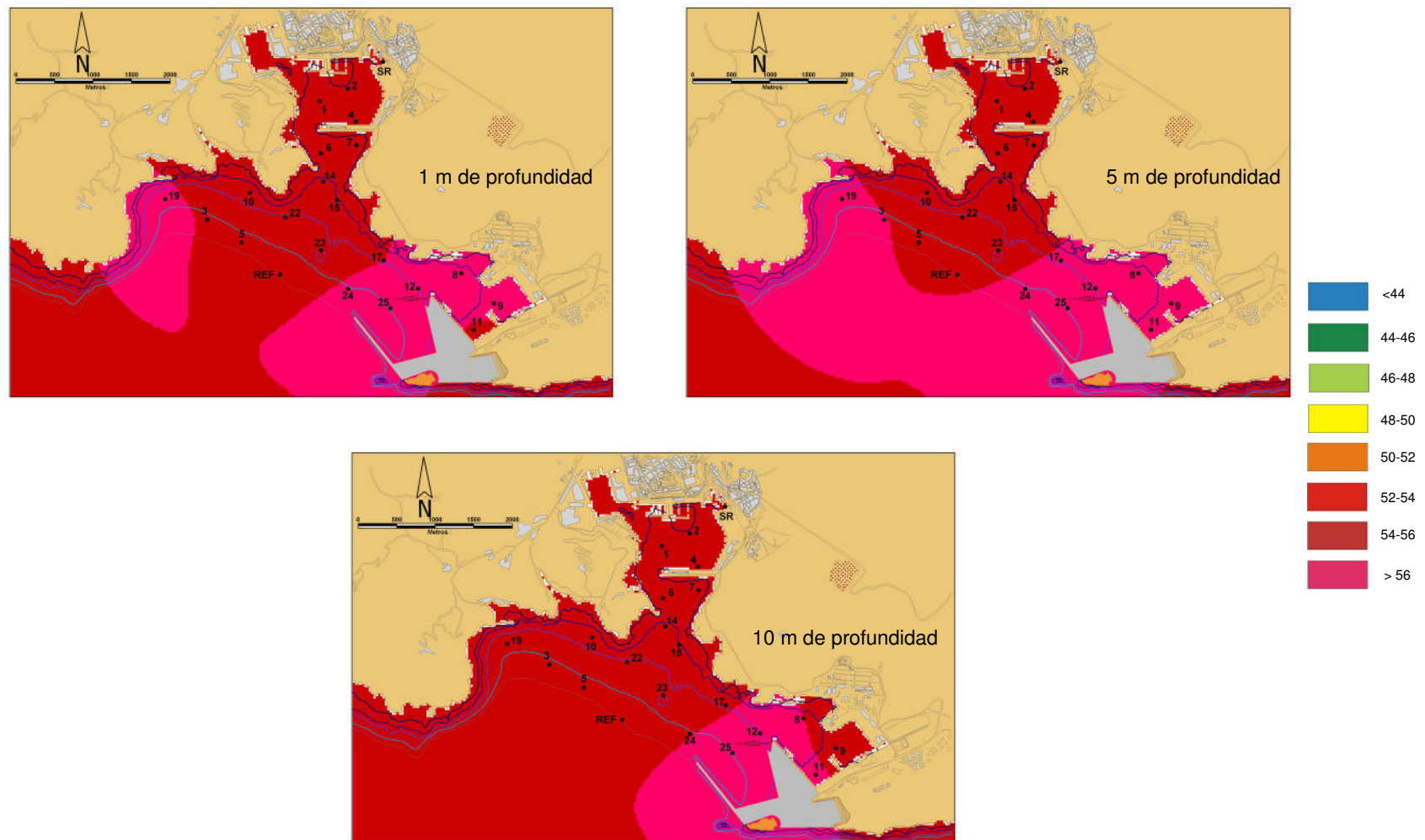


Figura 4. Mapas de distribución de C.E.(mS/cm) para el 4º muestreo a 1, 5 y 10 m de profundidad

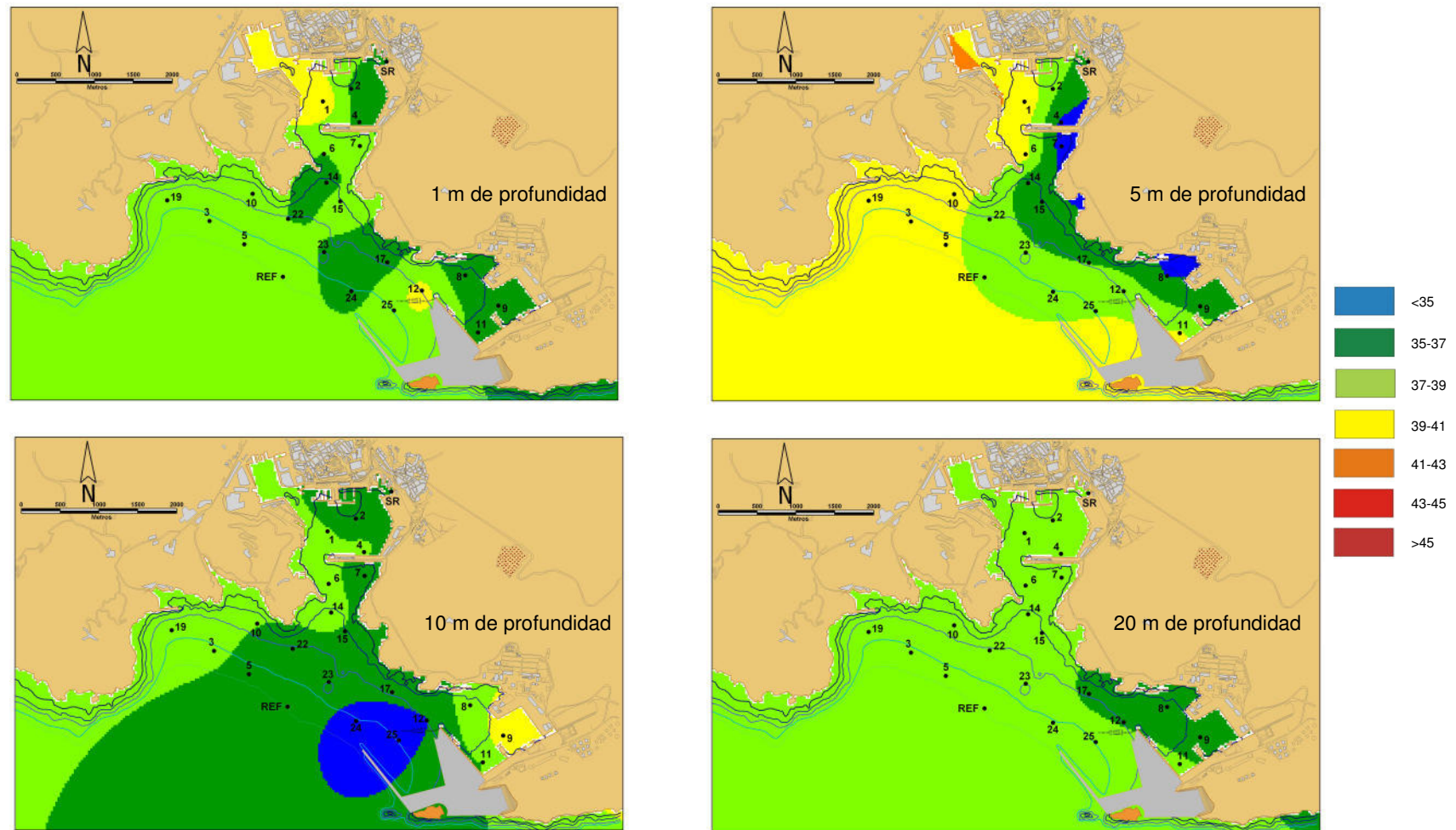


Figura 5. Mapas de distribución de salinidad (g/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

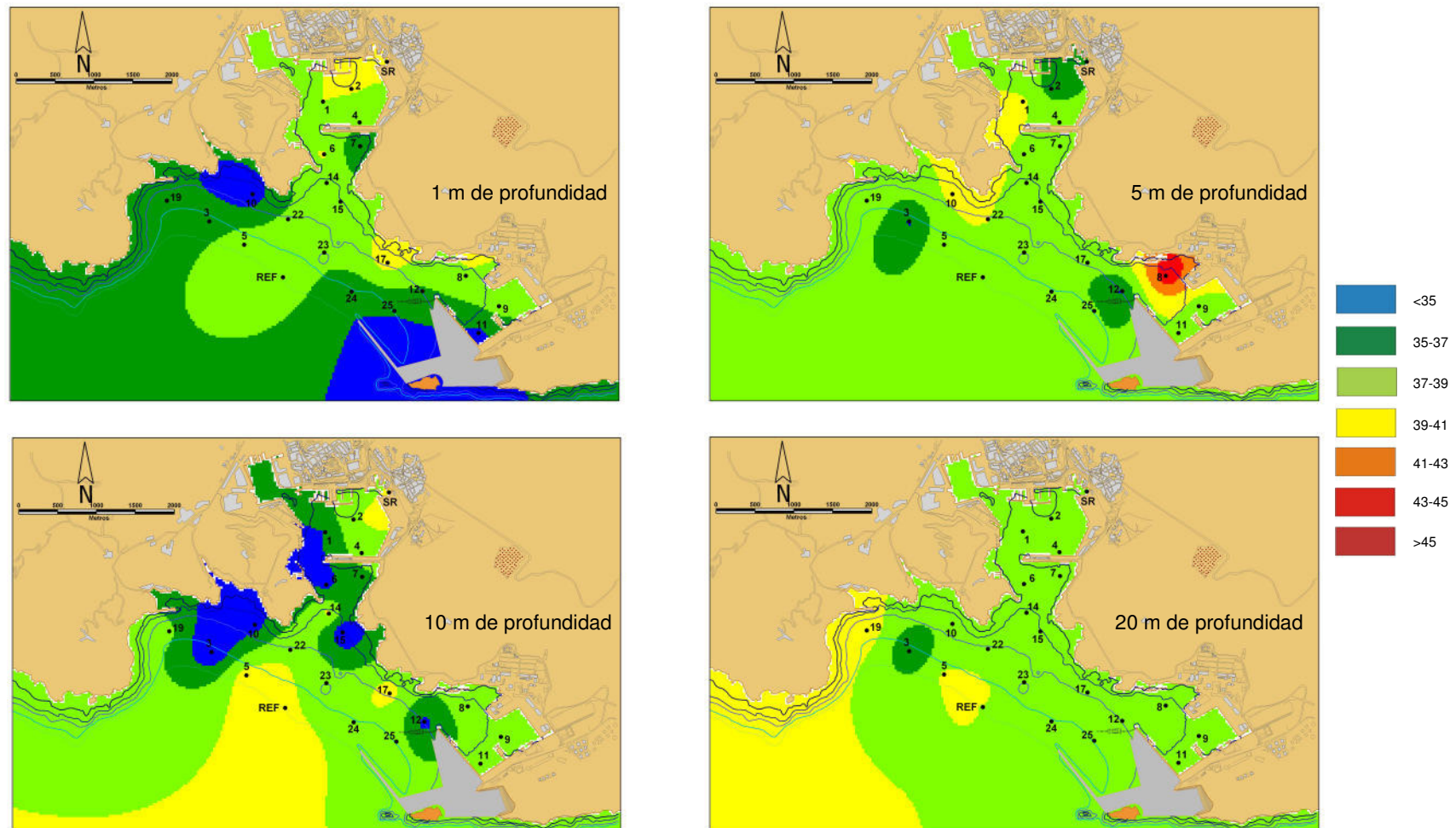


Figura 6. Mapas de distribución de salinidad (g/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

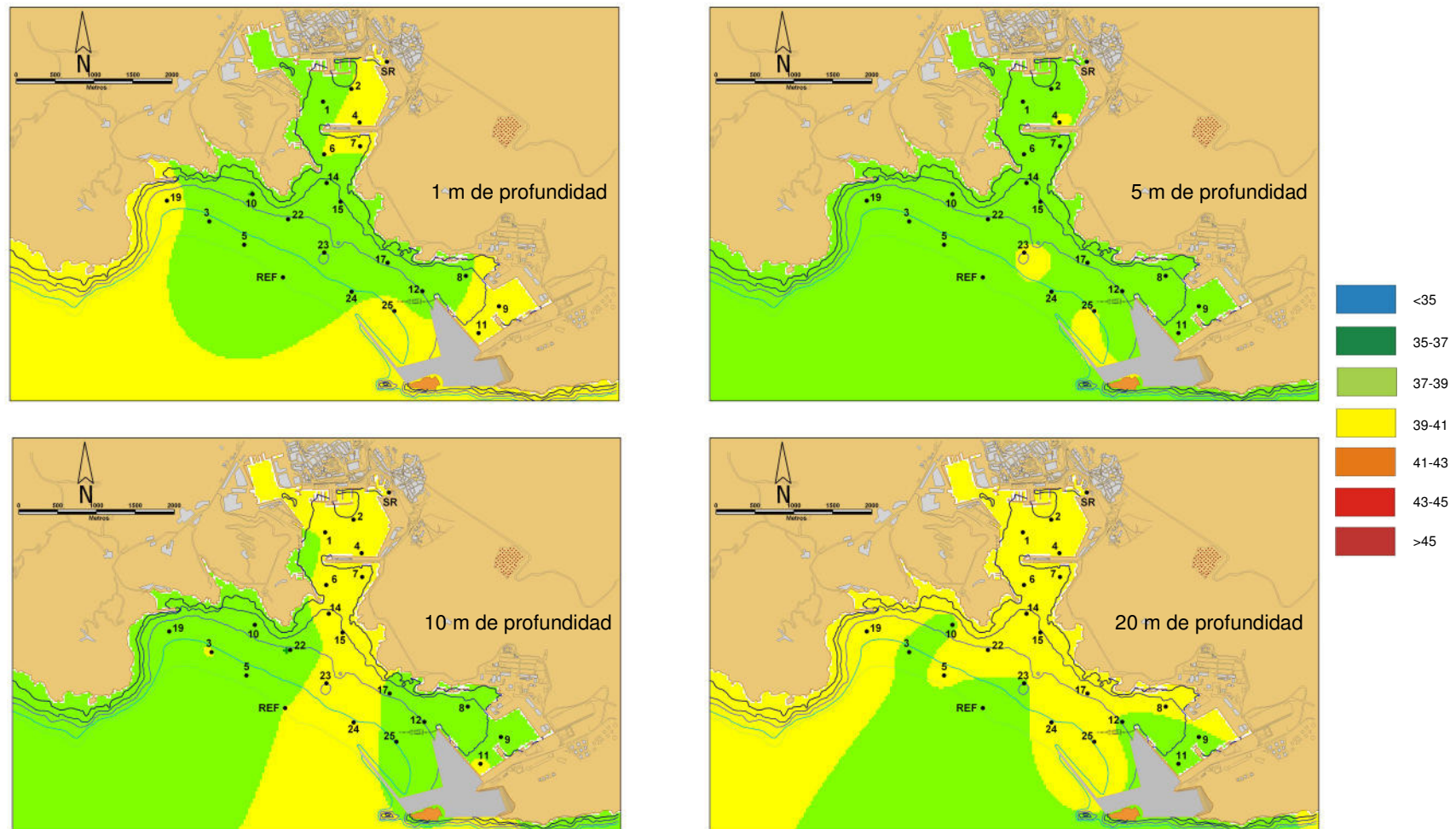


Figura 7. Mapas de distribución de salinidad (g/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

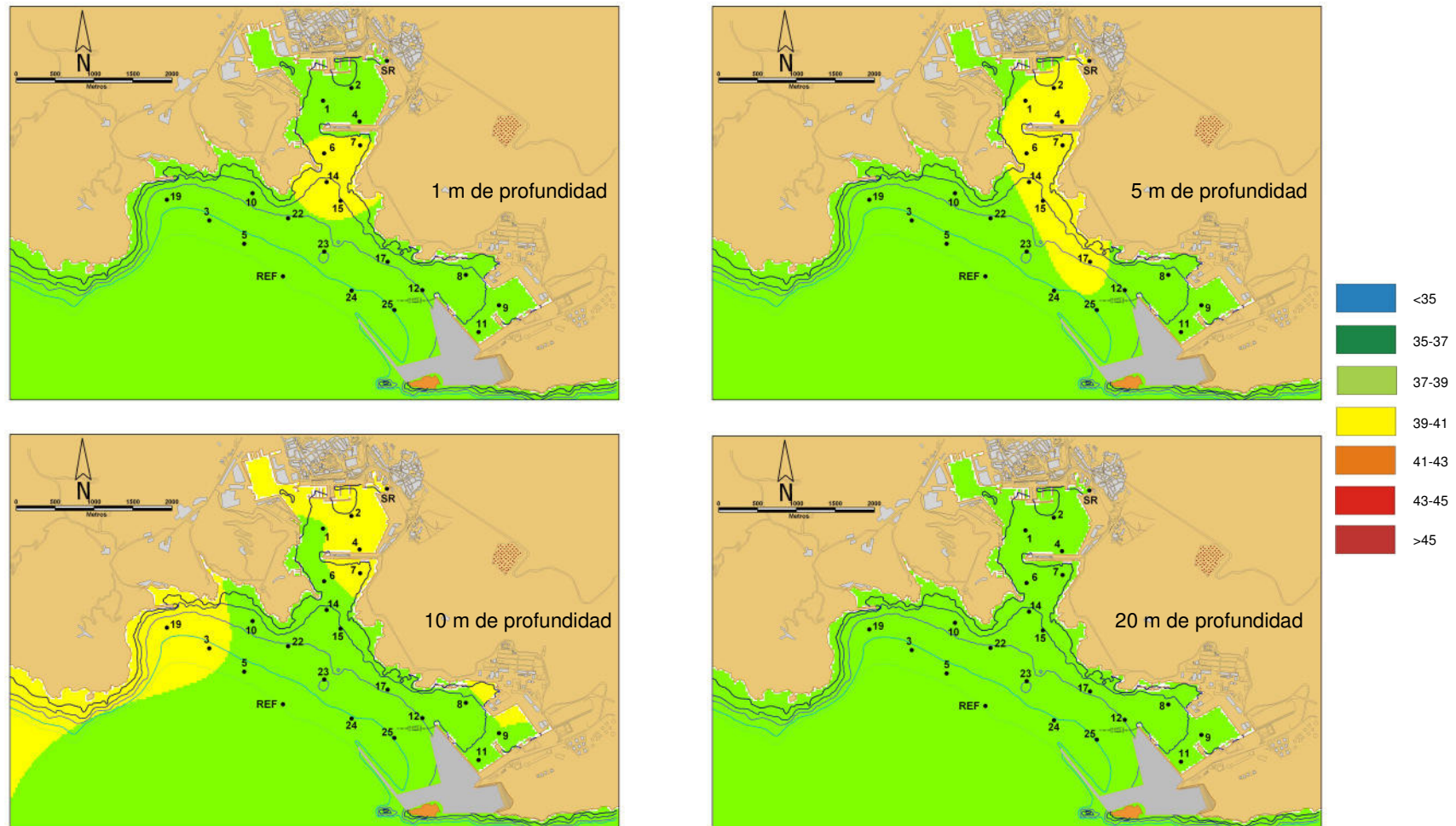


Figura 8. Mapas de distribución de salinidad (g/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

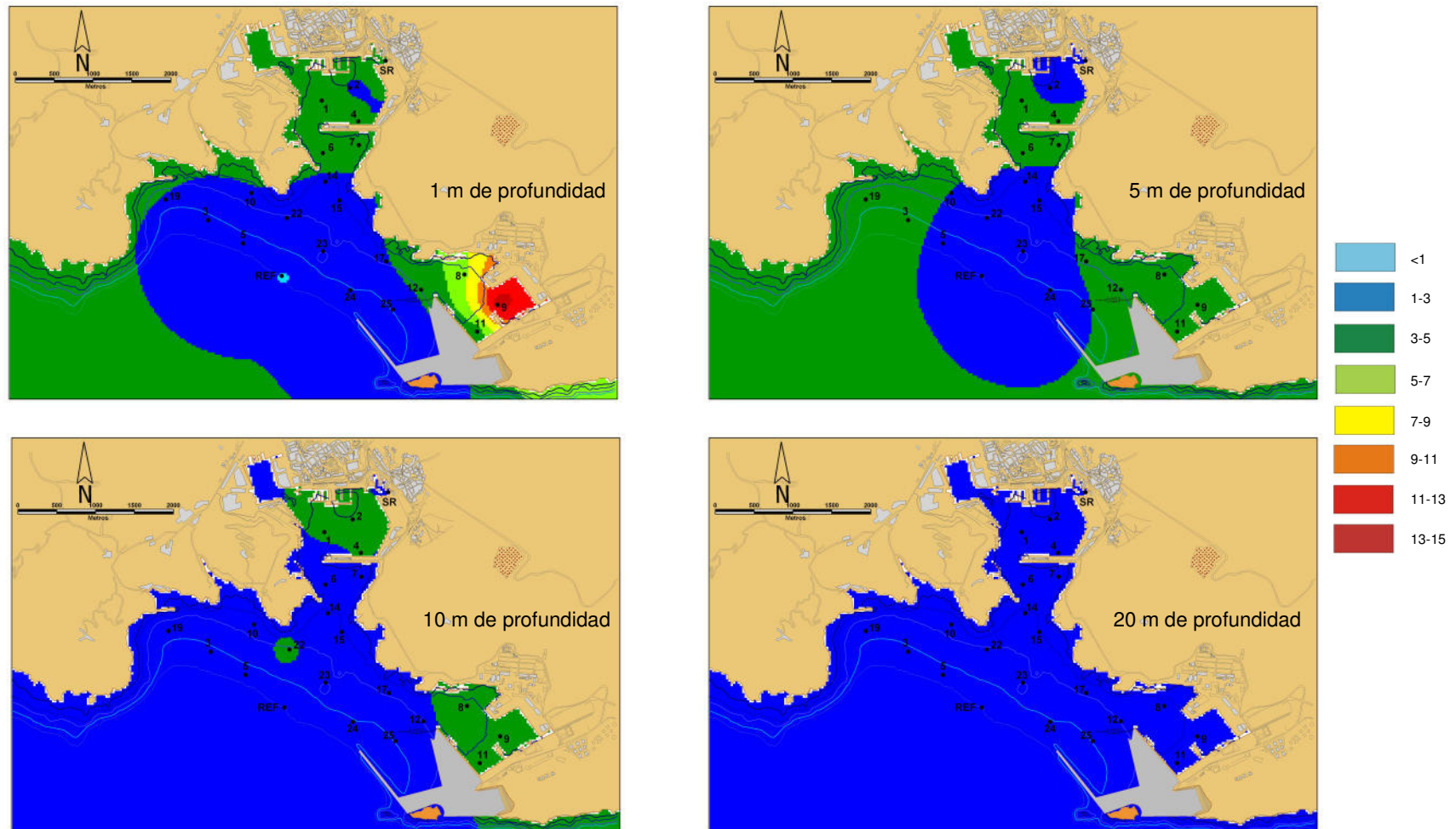


Figura 9. Mapas de distribución de turbidez (FTU) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

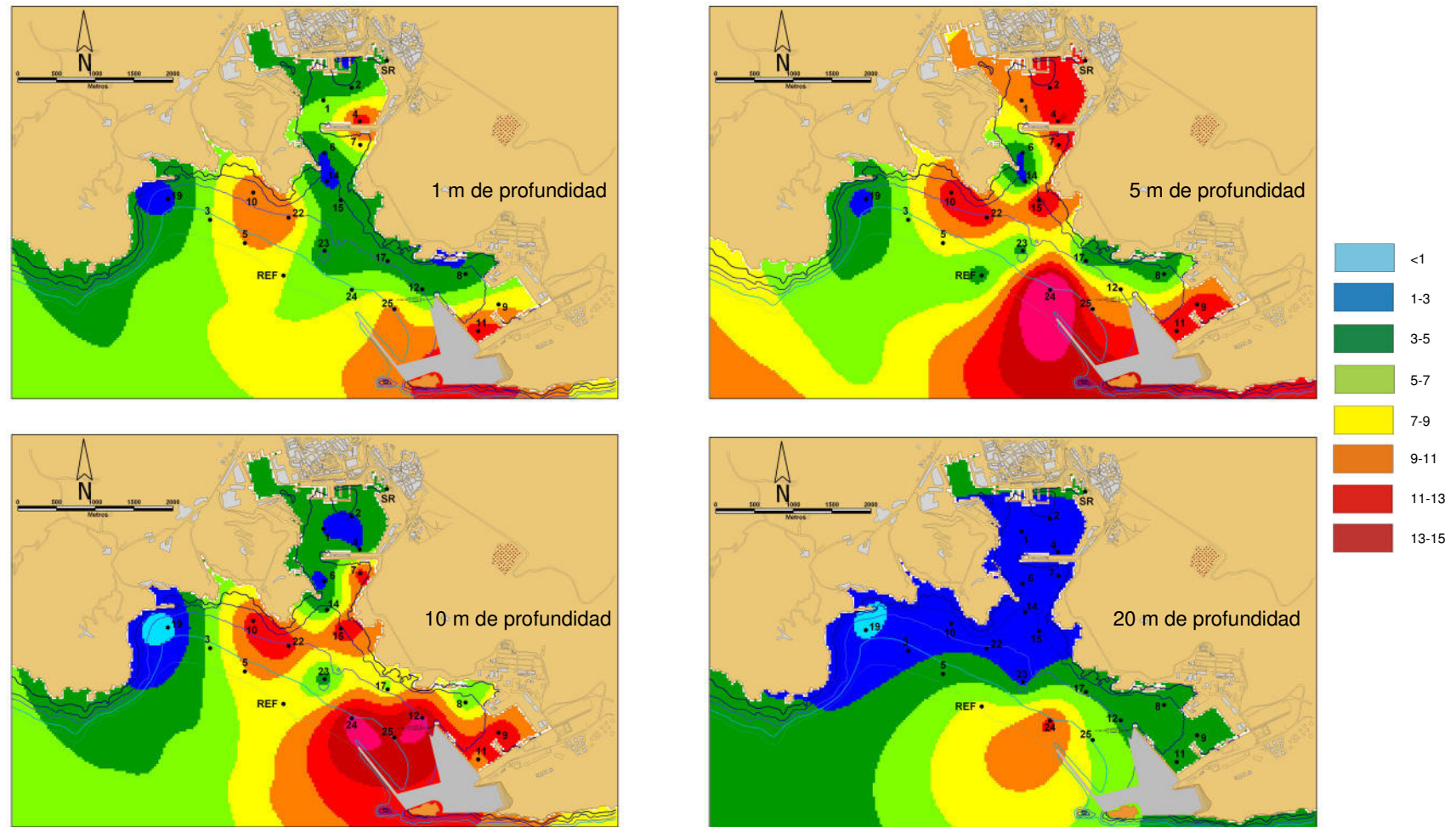


Figura 10. Mapas de distribución de turbidez (FTU) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

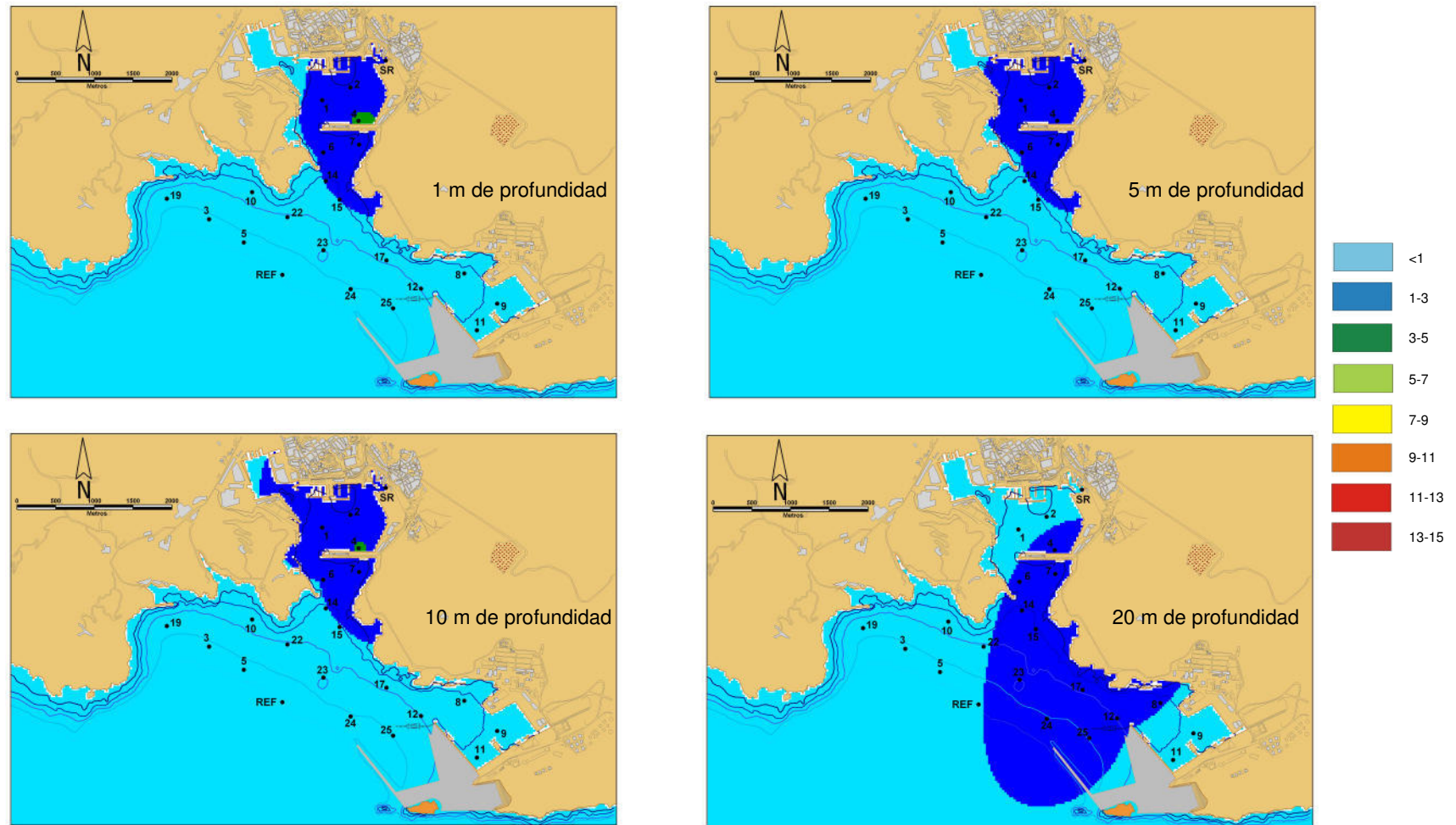


Figura 11. Mapas de distribución de turbidez (FTU) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

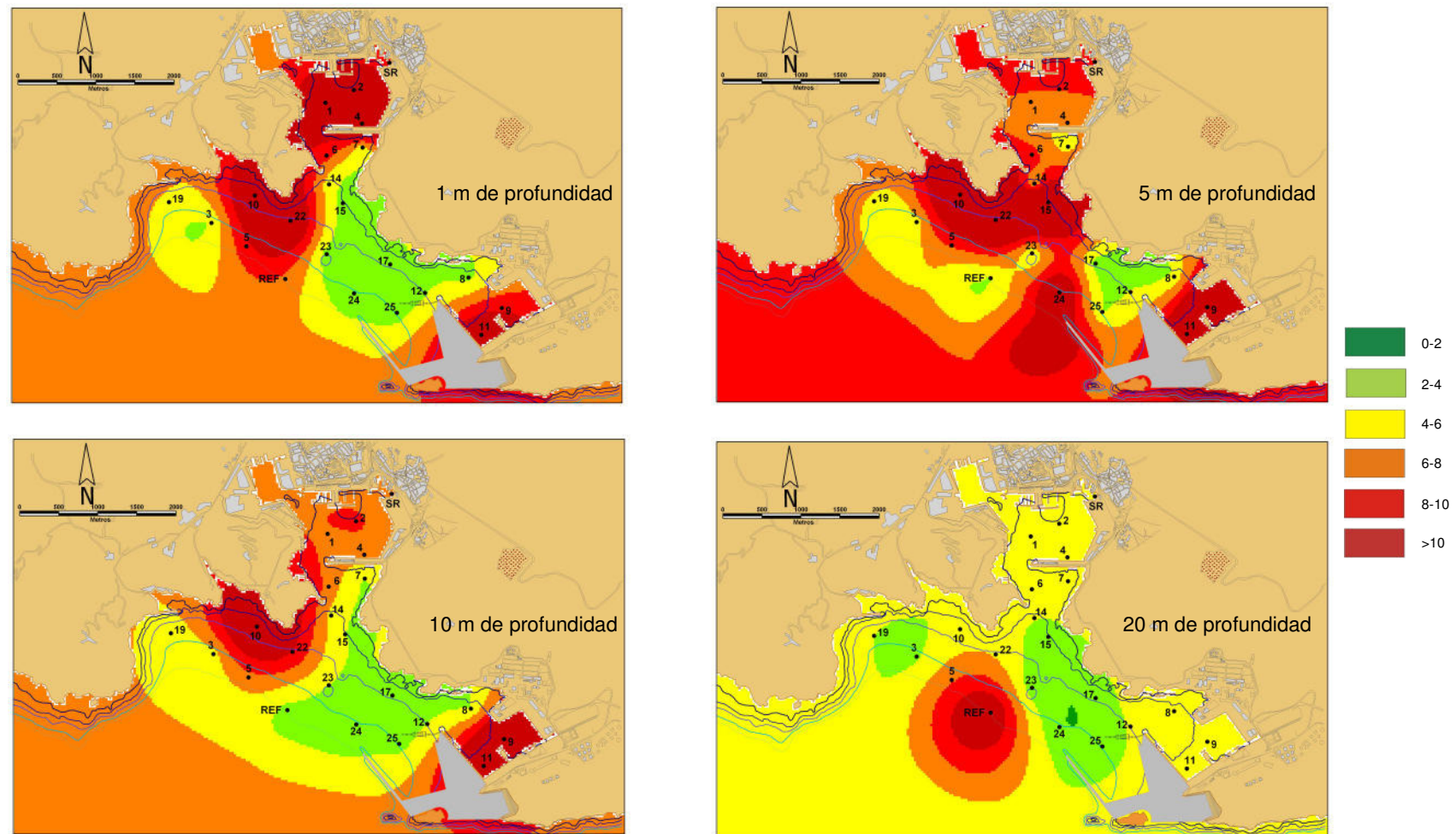


Figura 12. Mapas de distribución de clorofila A ($\mu\text{g/l}$) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

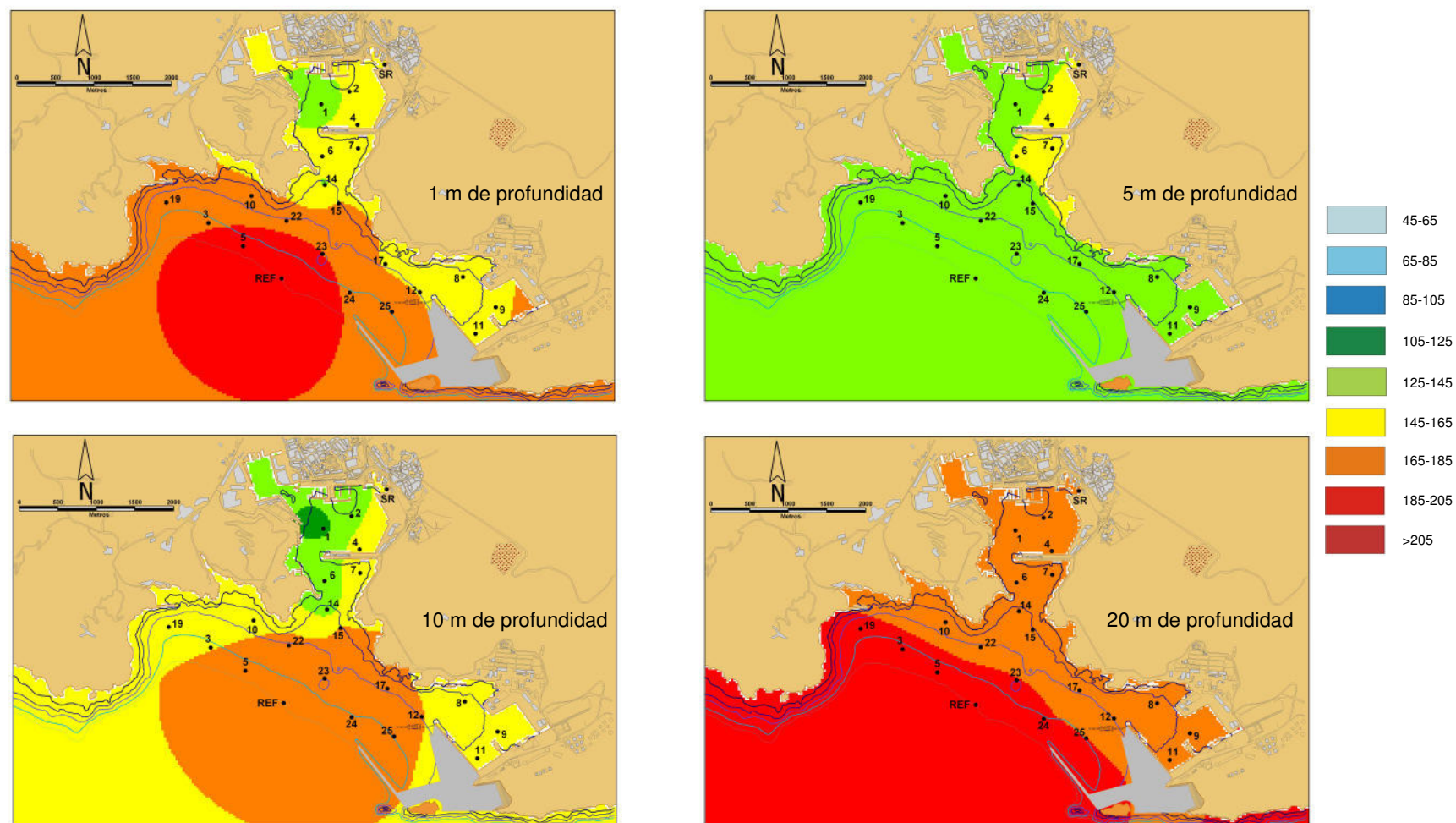


Figura 13. Mapas de distribución de redox (mV) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

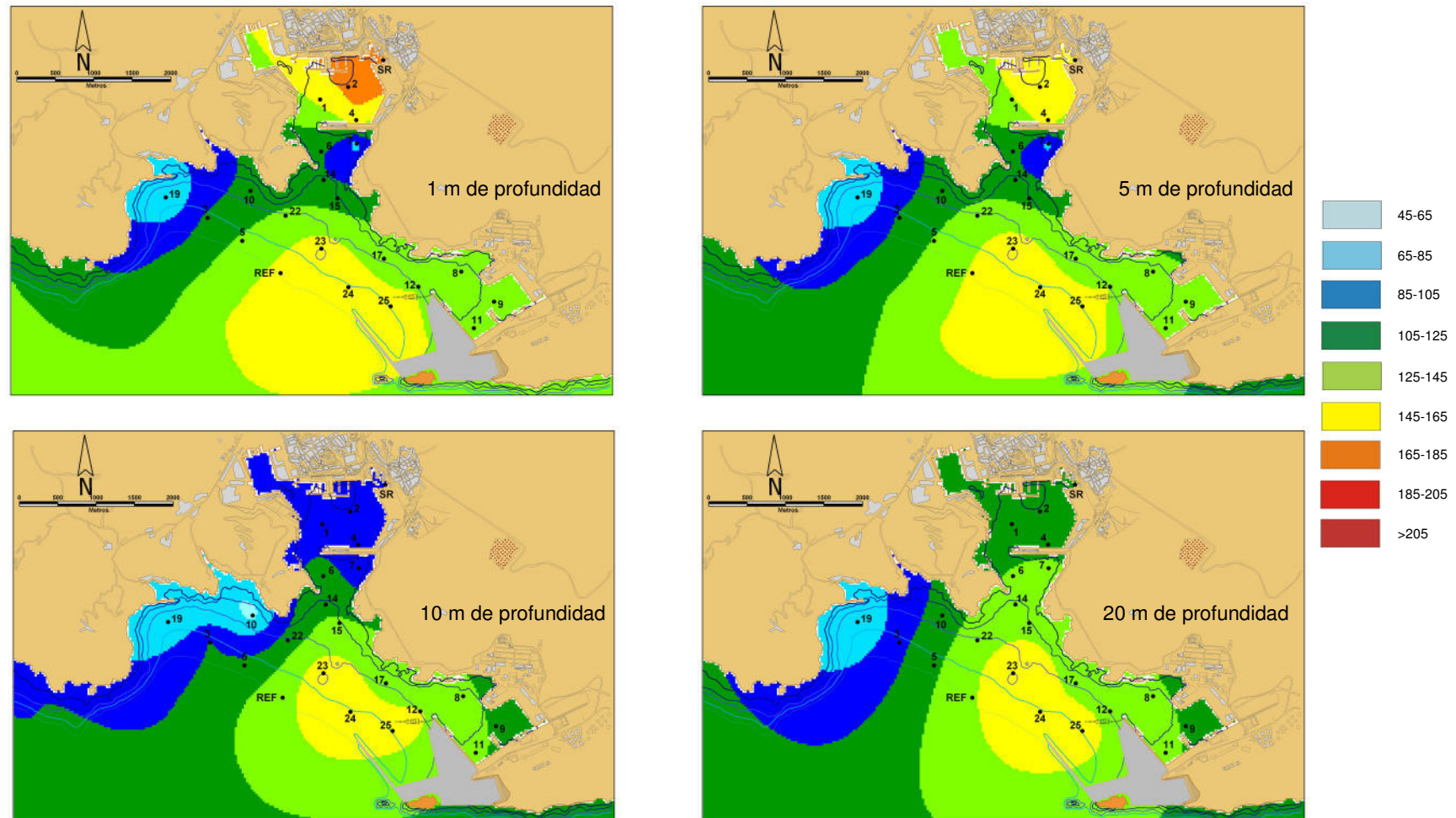


Figura 14. Mapas de distribución de redox (mV) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

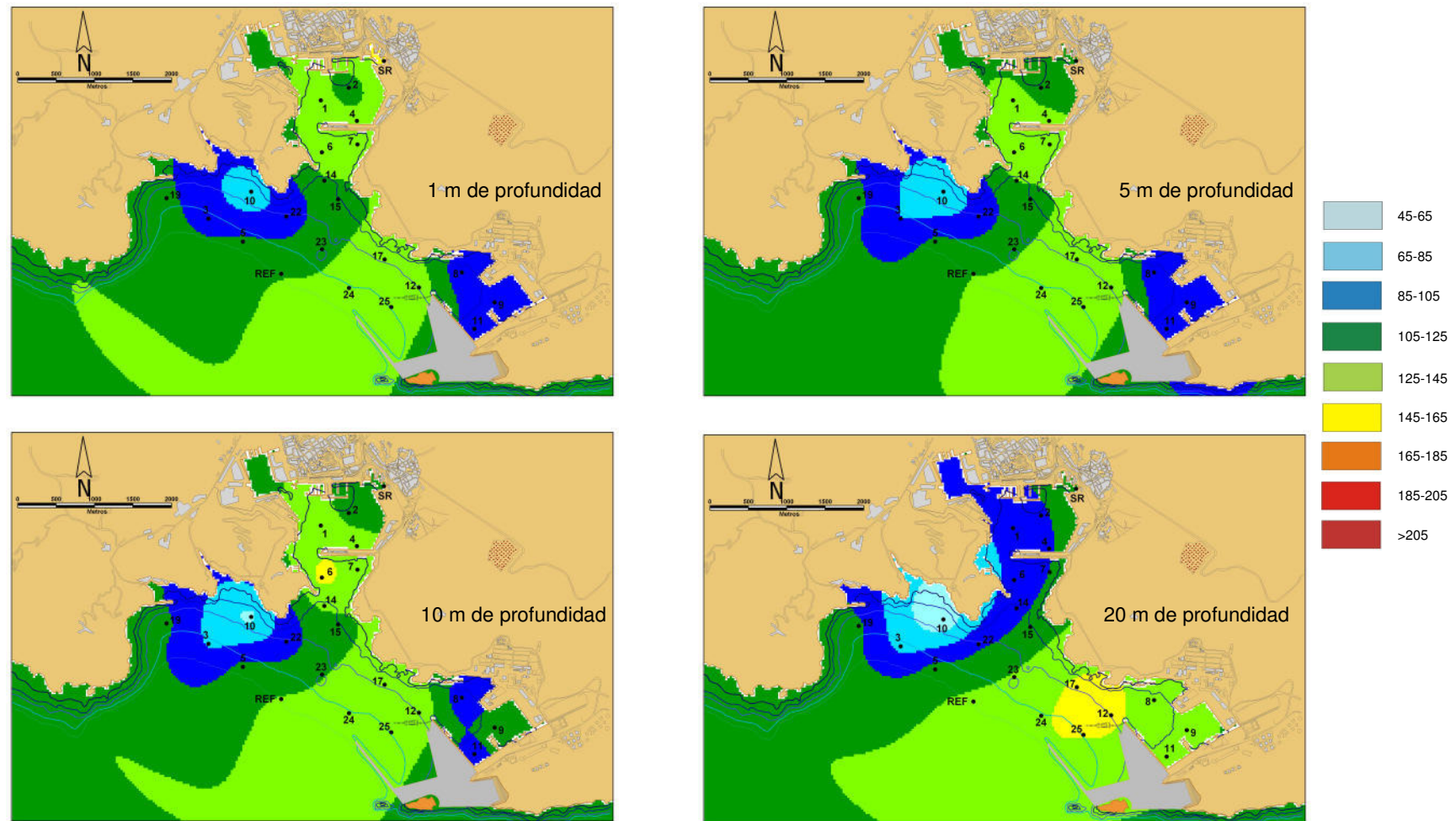


Figura 15. Mapas de distribución de redox (mV) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

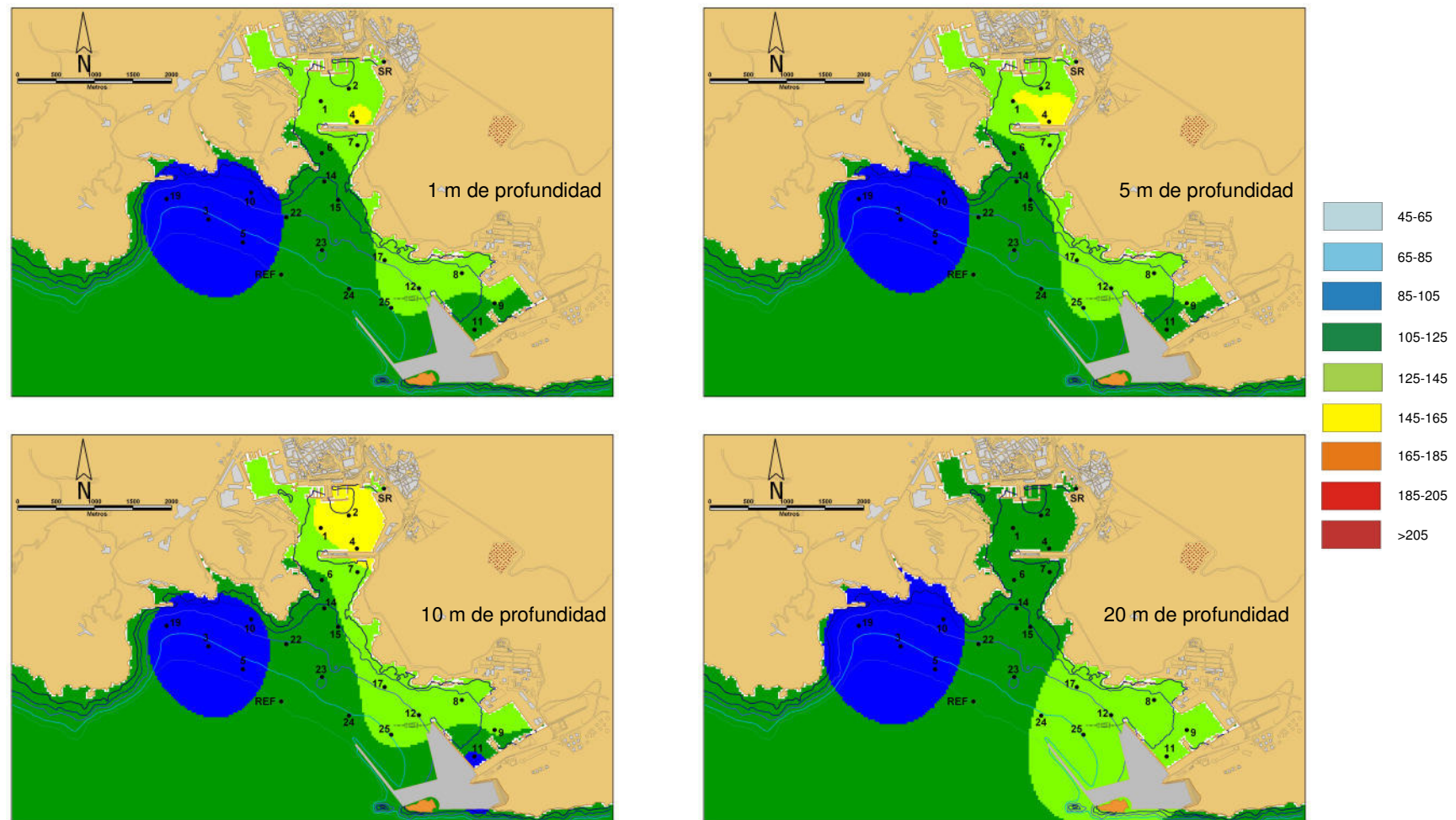


Figura 16. Mapas de distribución de redox (mV) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

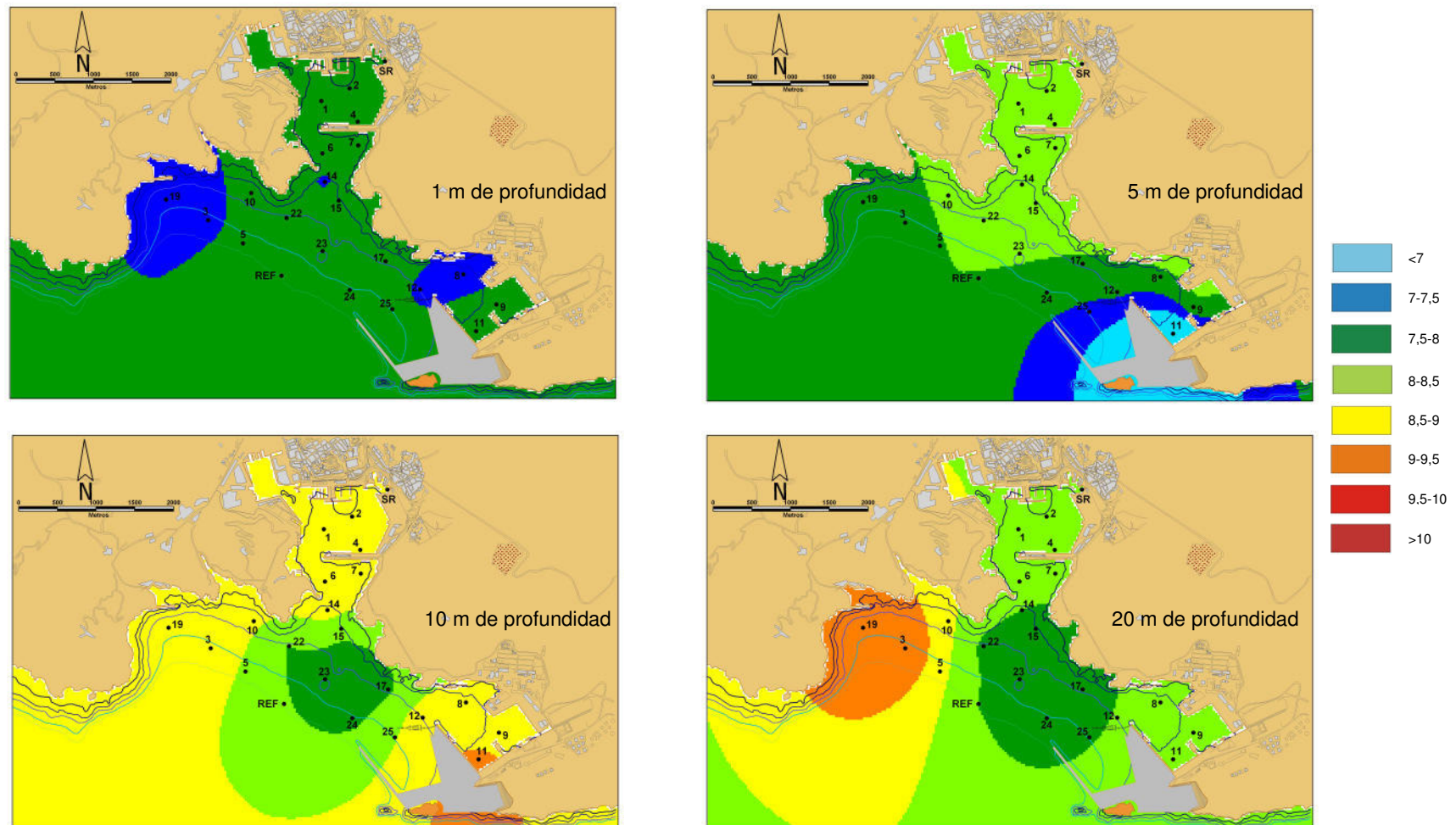


Figura 17. Mapas de distribución de oxígeno disuelto (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

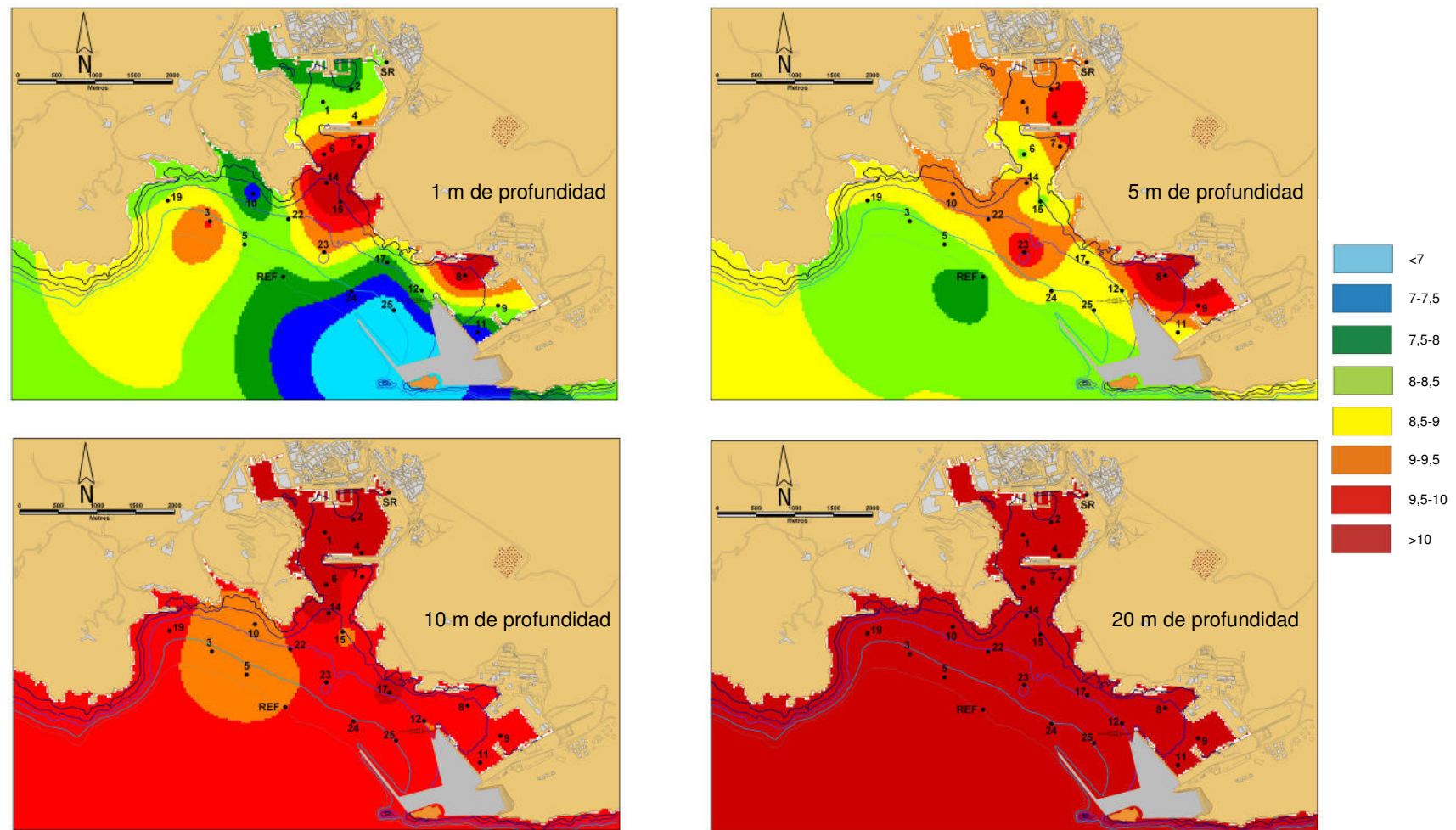


Figura 18. Mapas de distribución de oxígeno disuelto (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

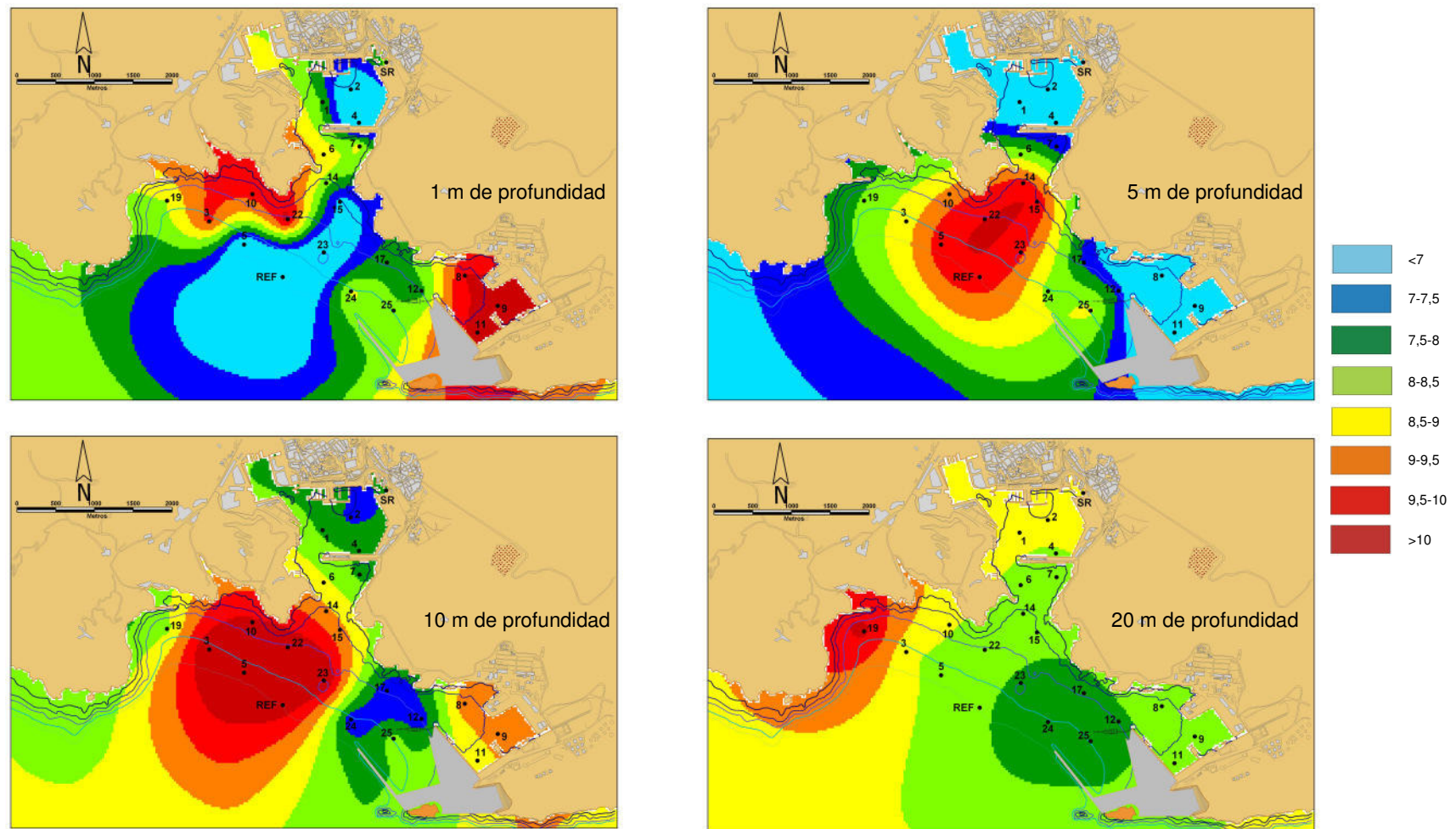


Figura 19. Mapas de distribución de oxígeno disuelto (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

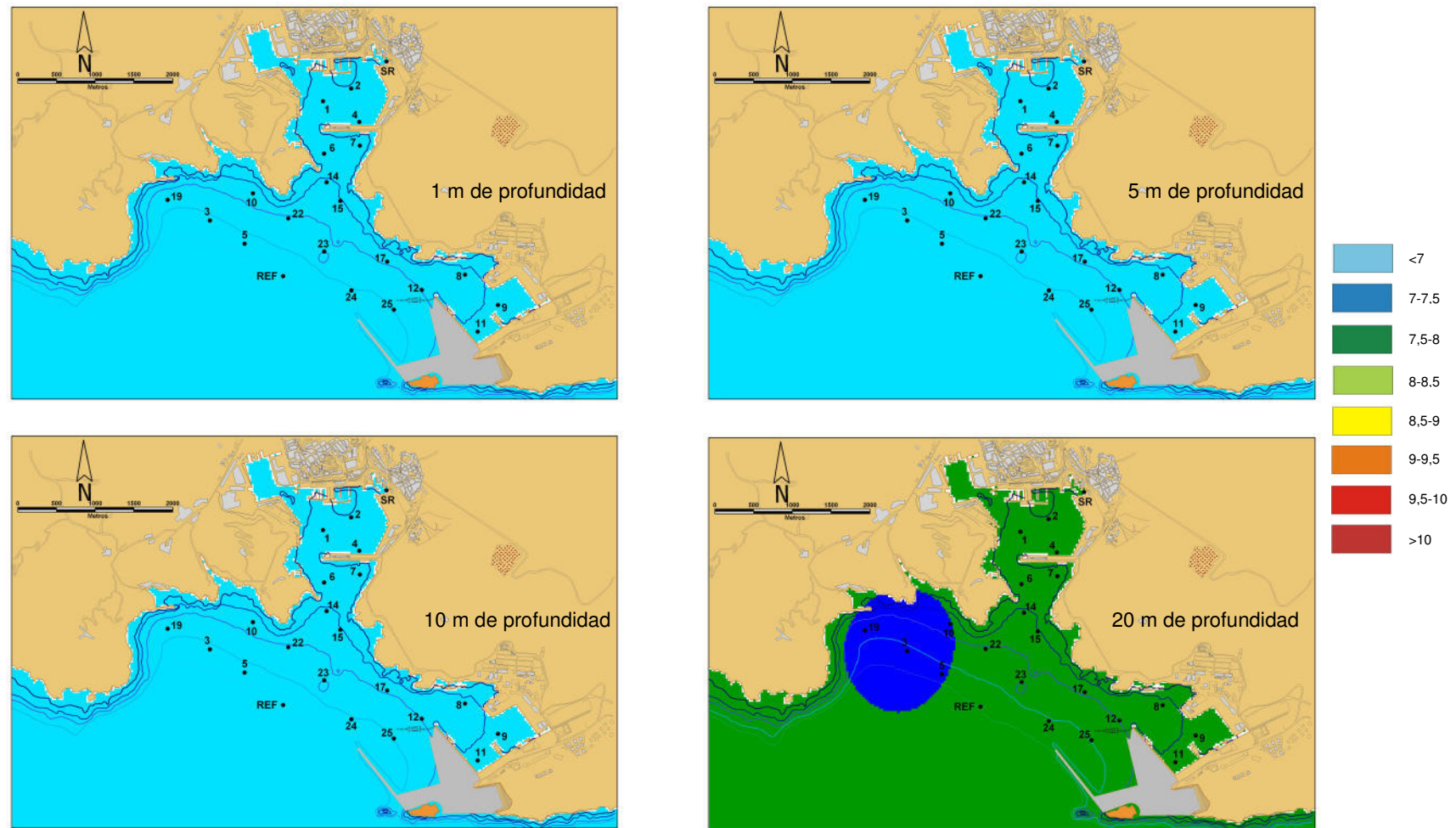


Figura 20. Mapas de distribución de oxígeno disuelto (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

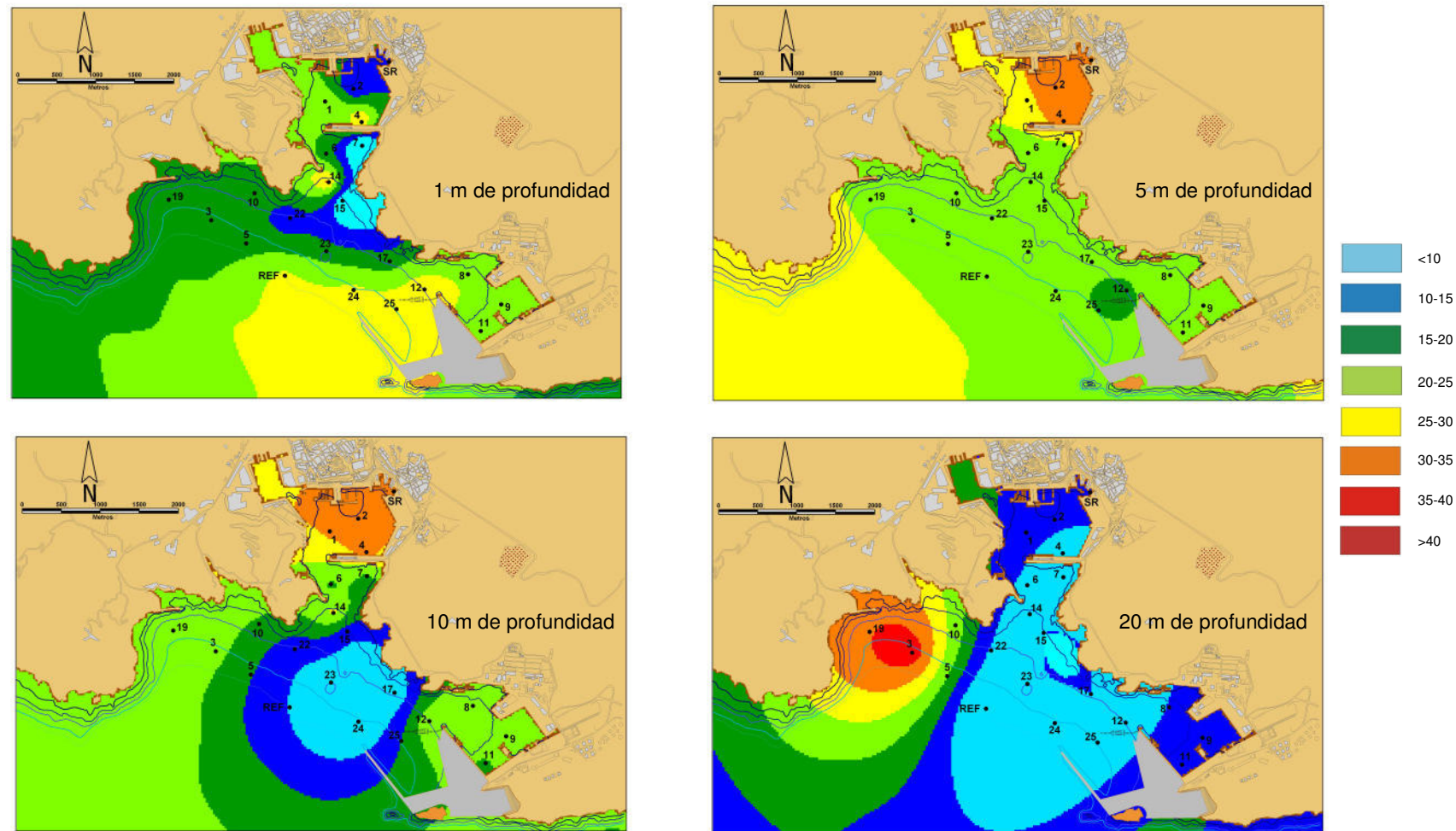


Figura 21. Mapas de distribución de carbonatos (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

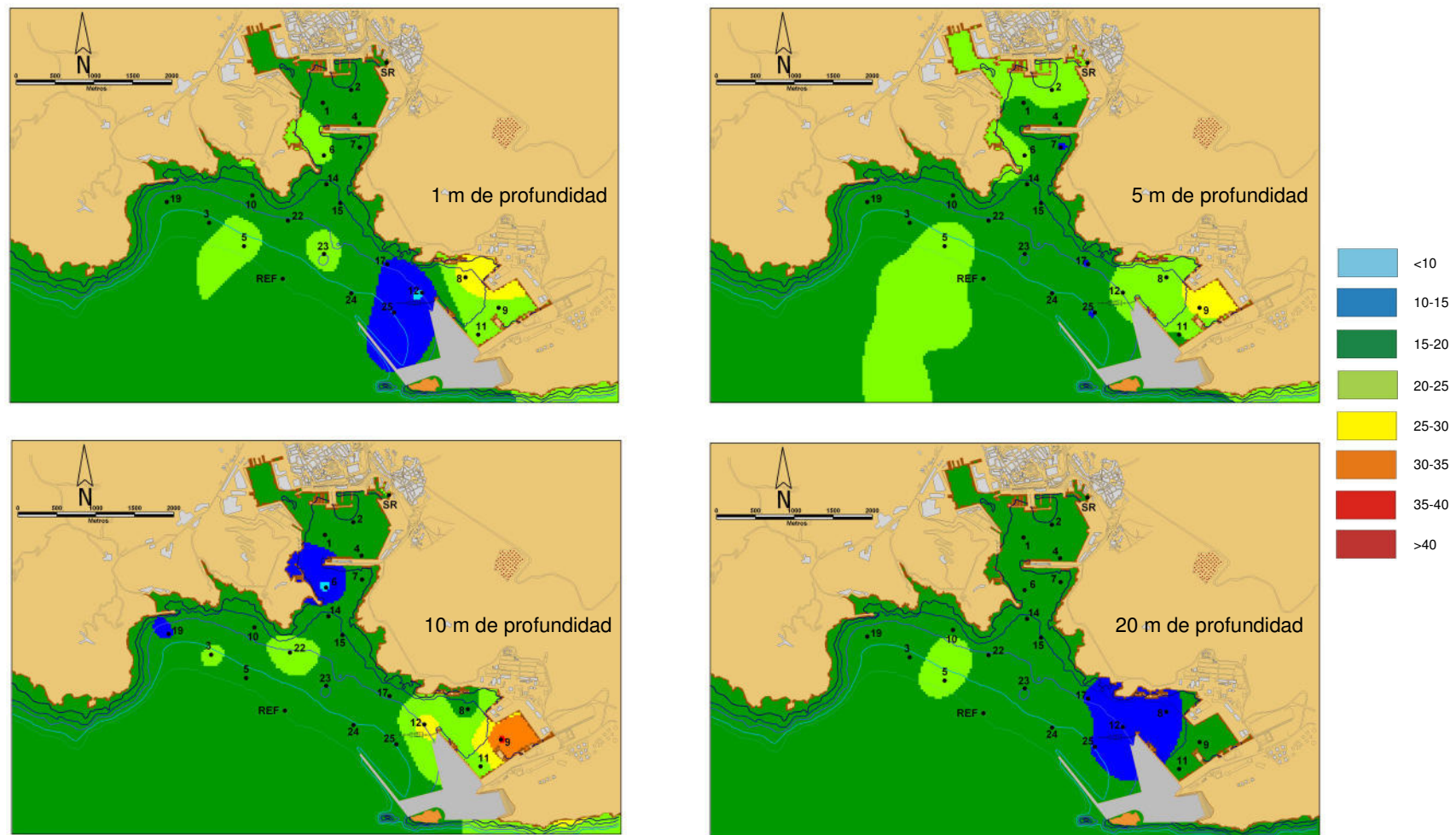


Figura 22. Mapas de distribución de carbonatos (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

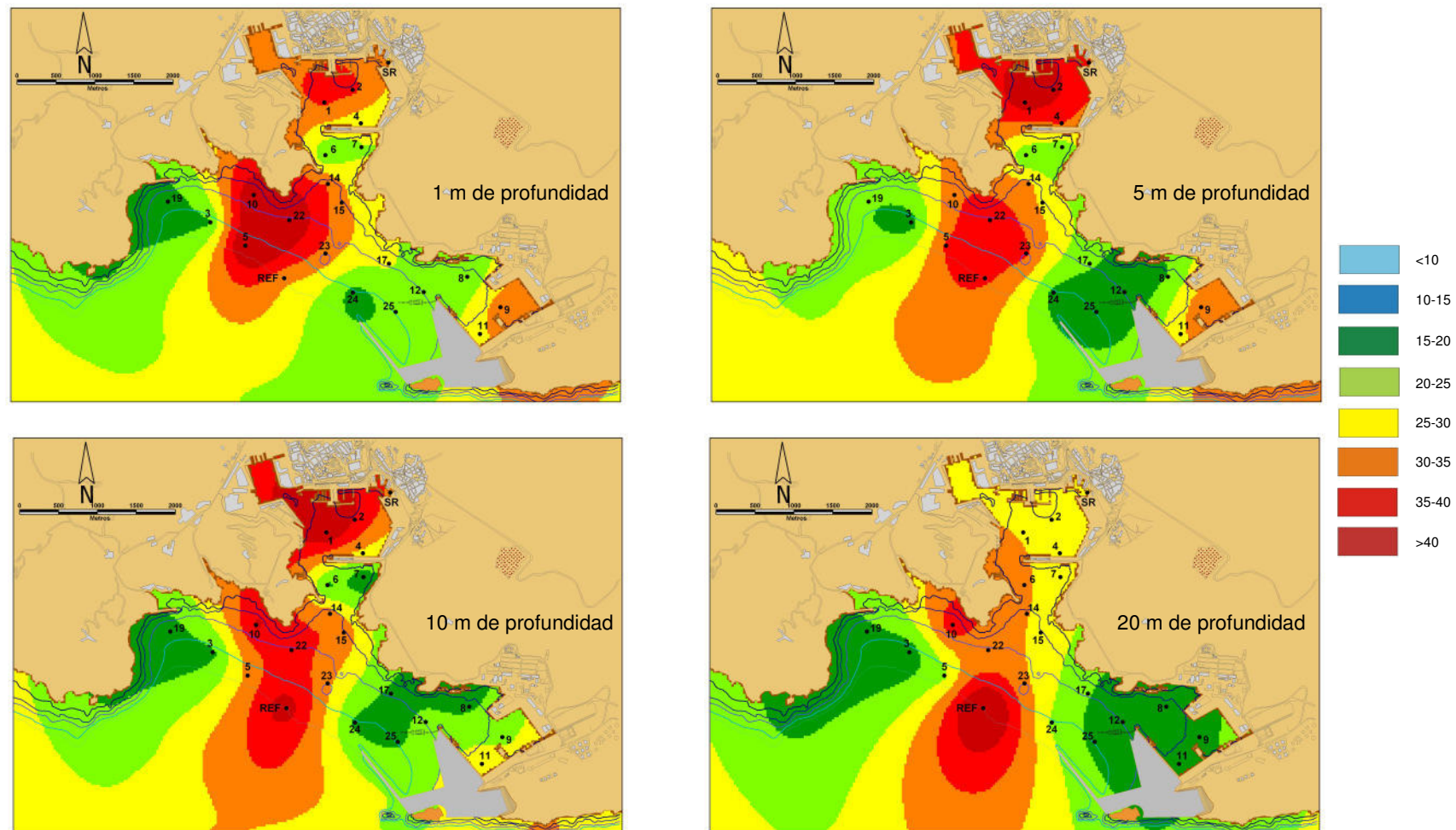


Figura 23. Mapas de distribución de carbonatos (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

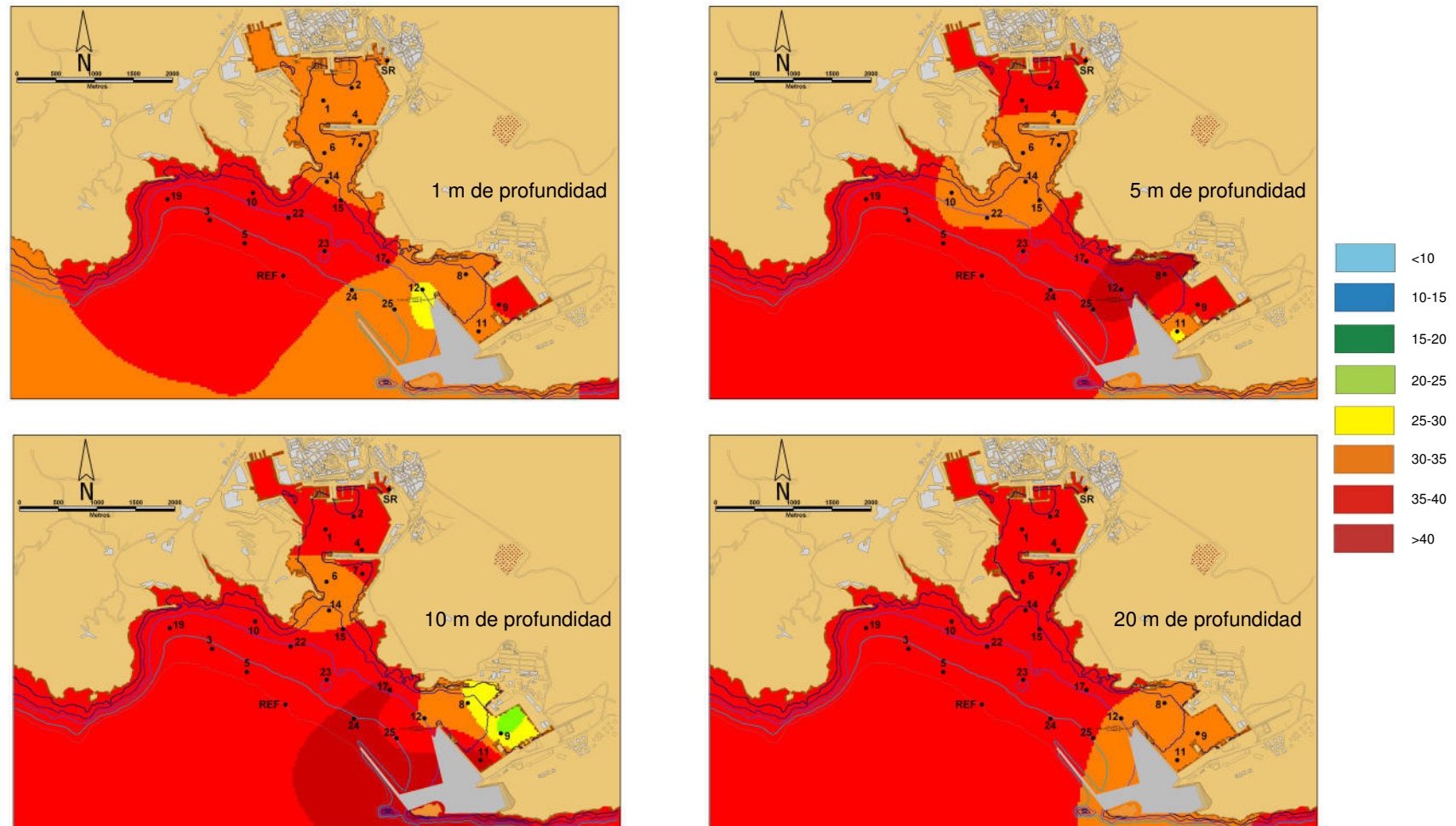


Figura 24. Mapas de distribución de carbonatos (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

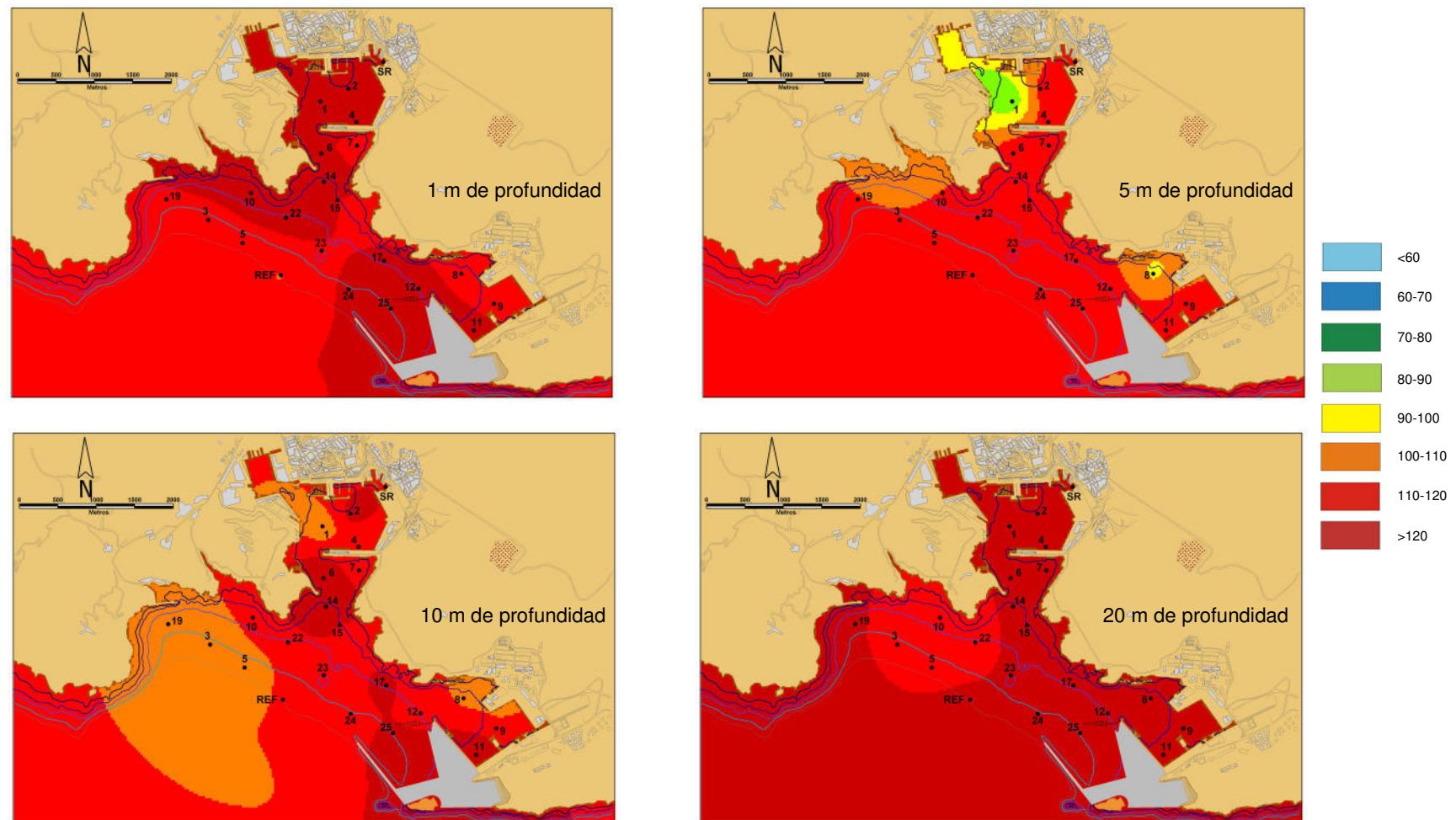


Figura 25. Mapas de distribución de bicarbonatos (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

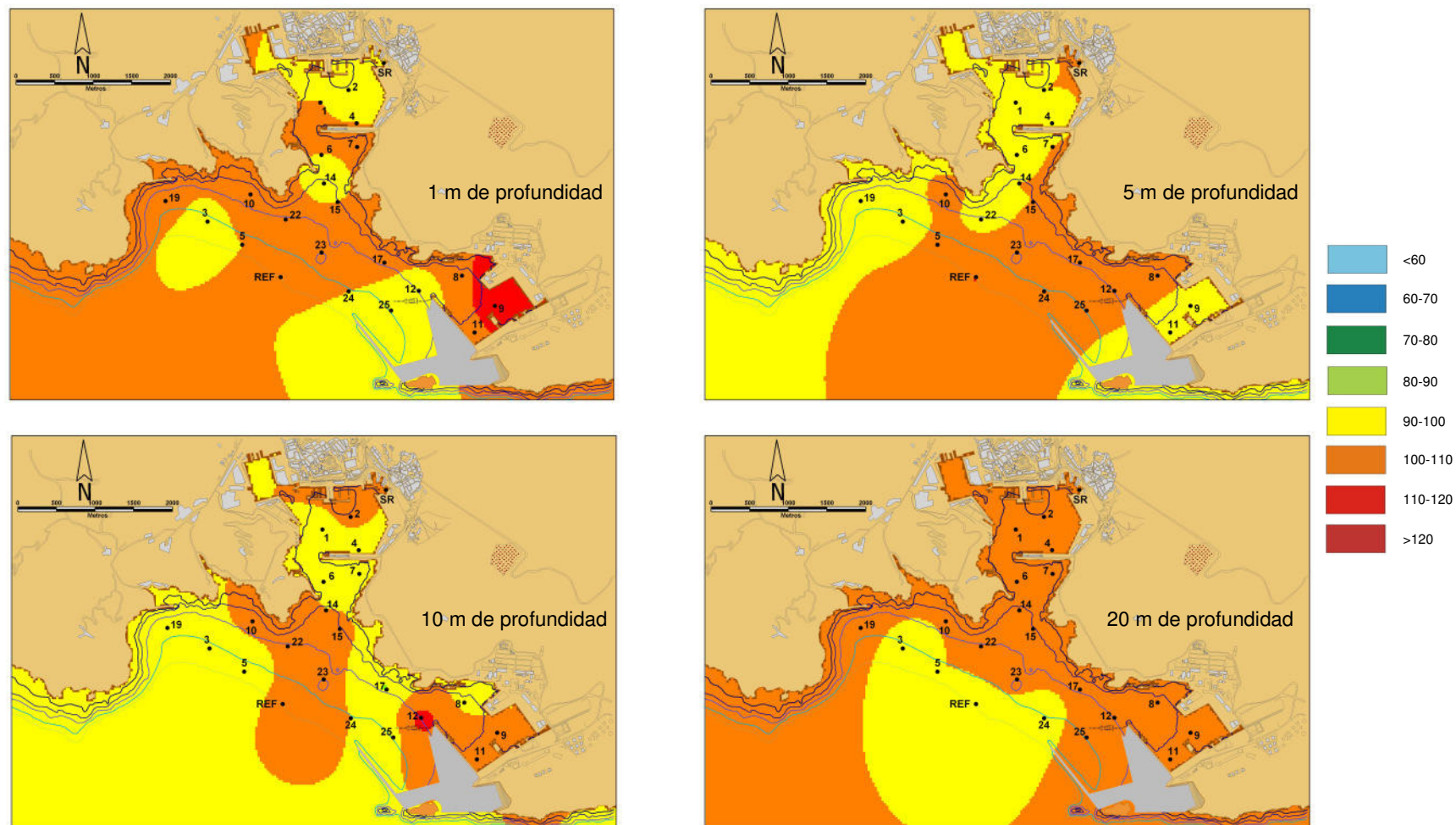


Figura 26. Mapas de distribución de bicarbonatos (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

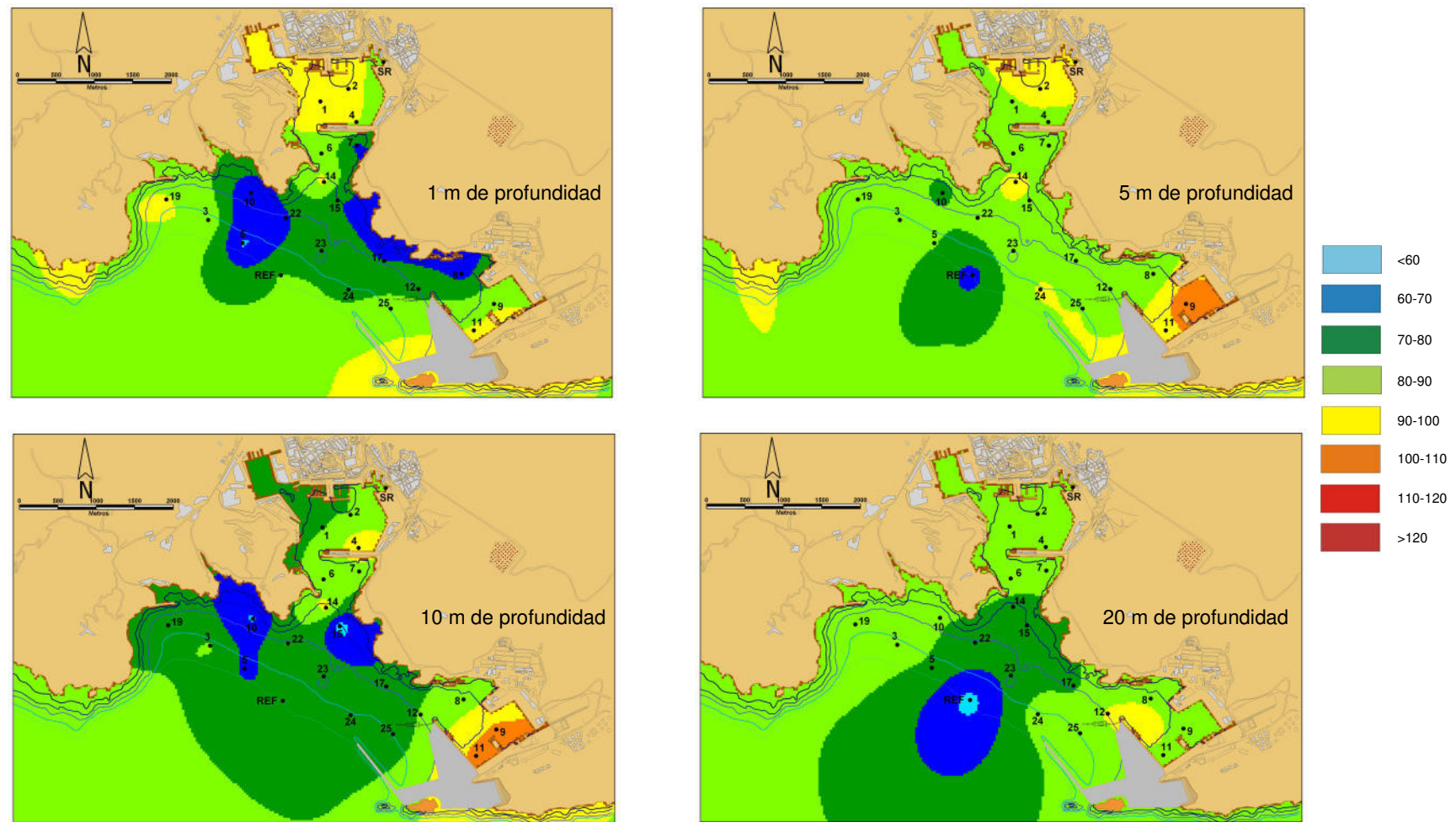


Figura 27. Mapas de distribución de bicarbonatos (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

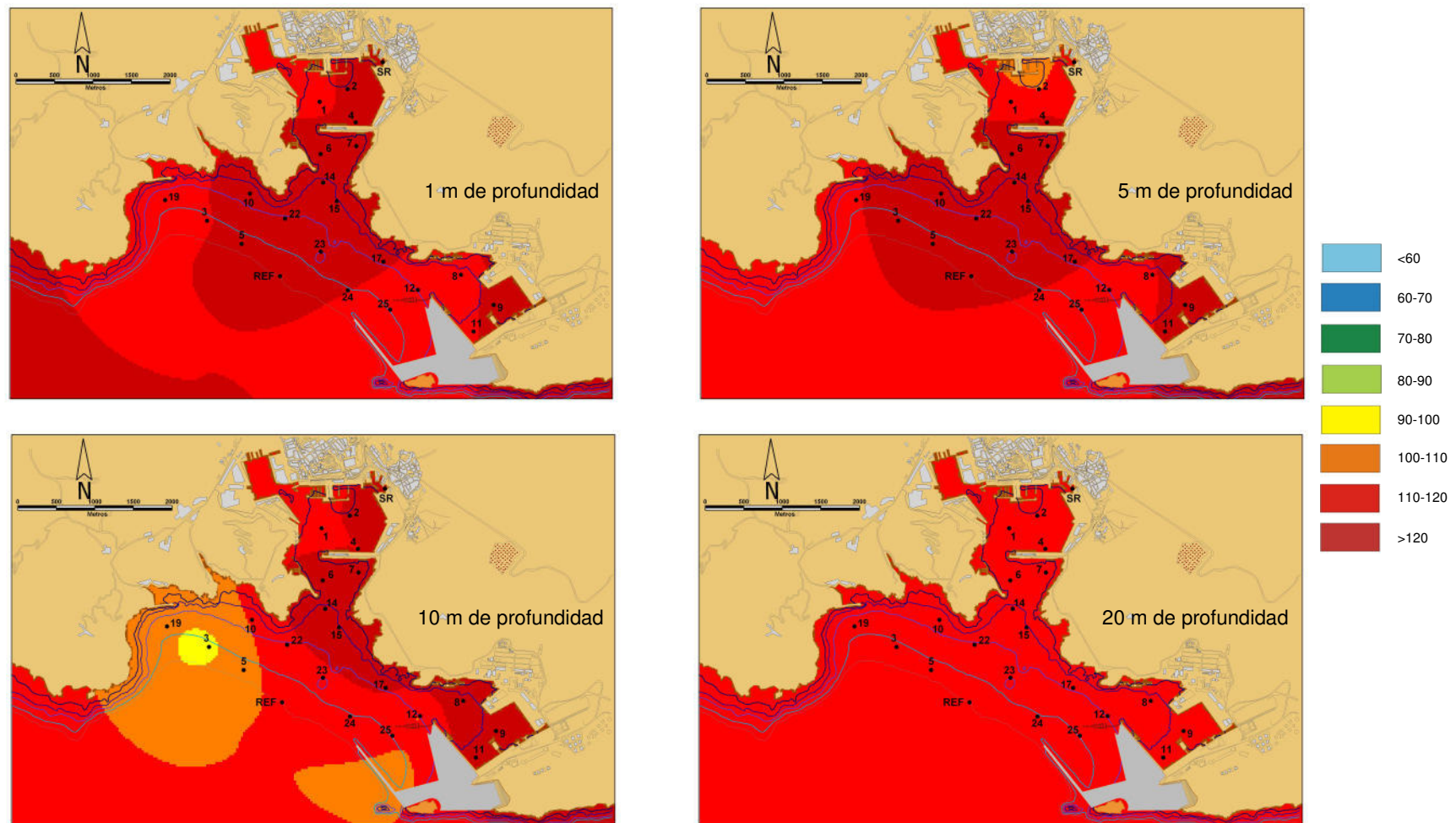


Figura 28. Mapas de distribución de bicarbonatos (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

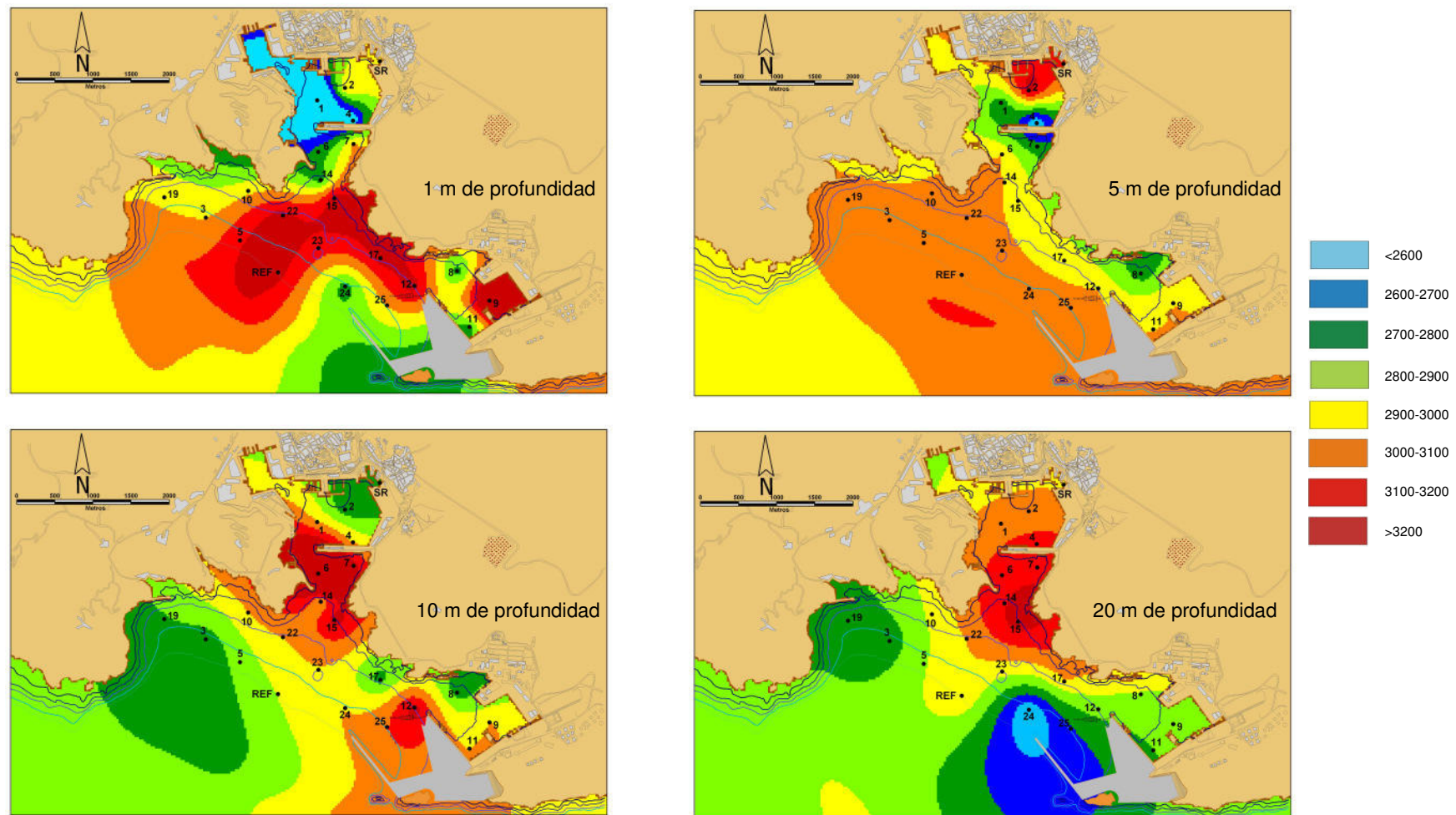


Figura 29. Mapas de distribución de sulfatos (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

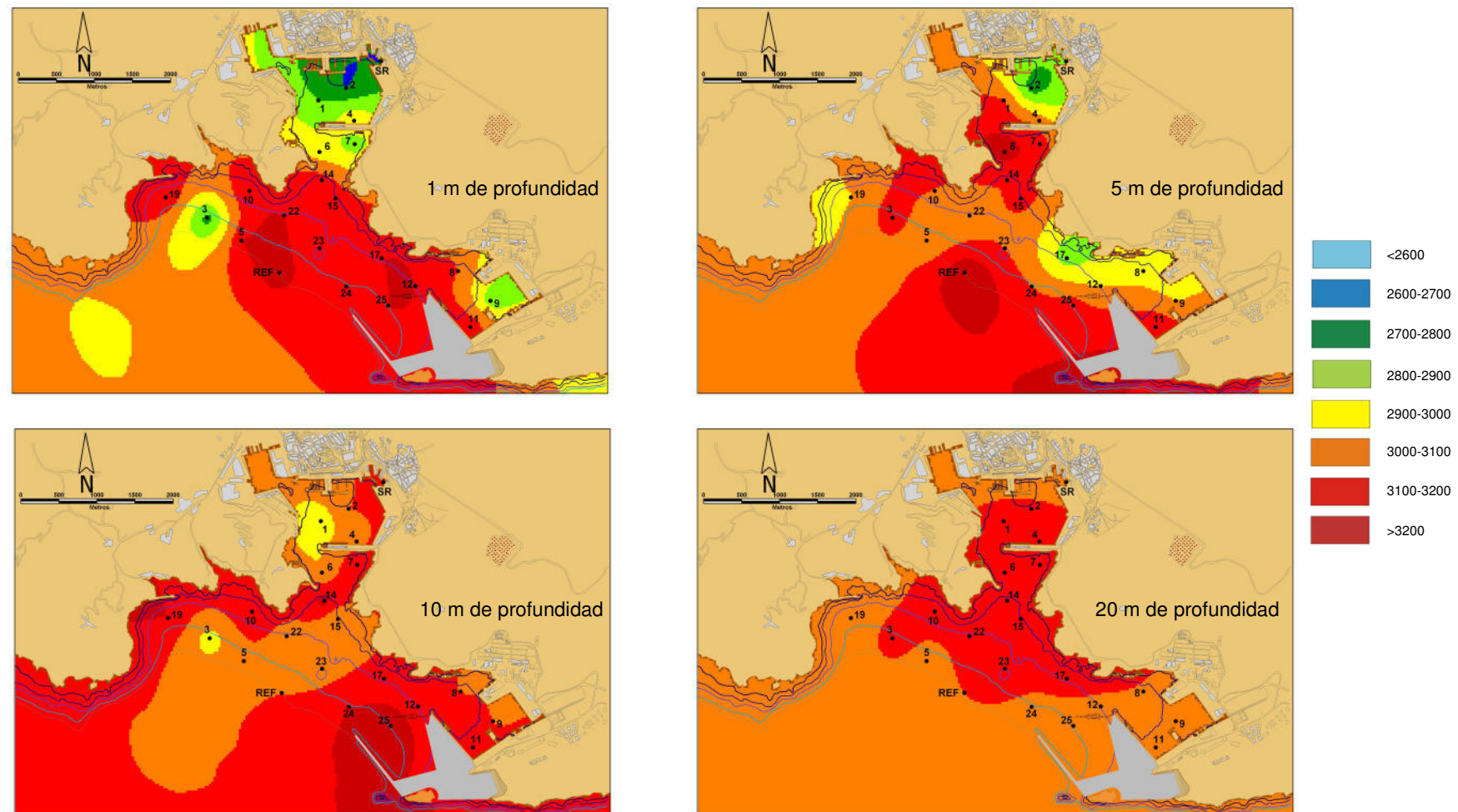


Figura 30. Mapas de distribución de sulfatos (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

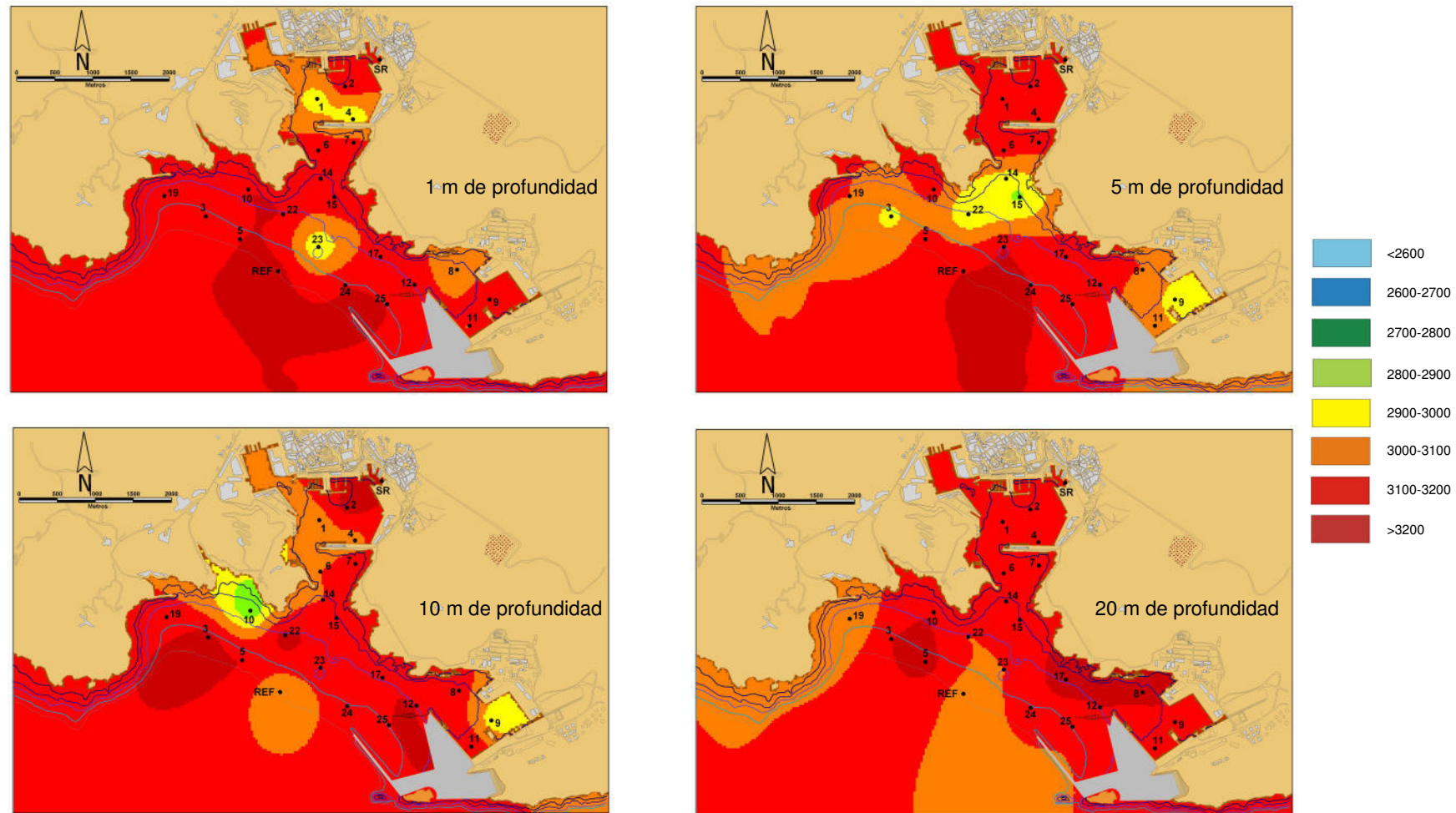


Figura 31. Mapas de distribución de sulfatos (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

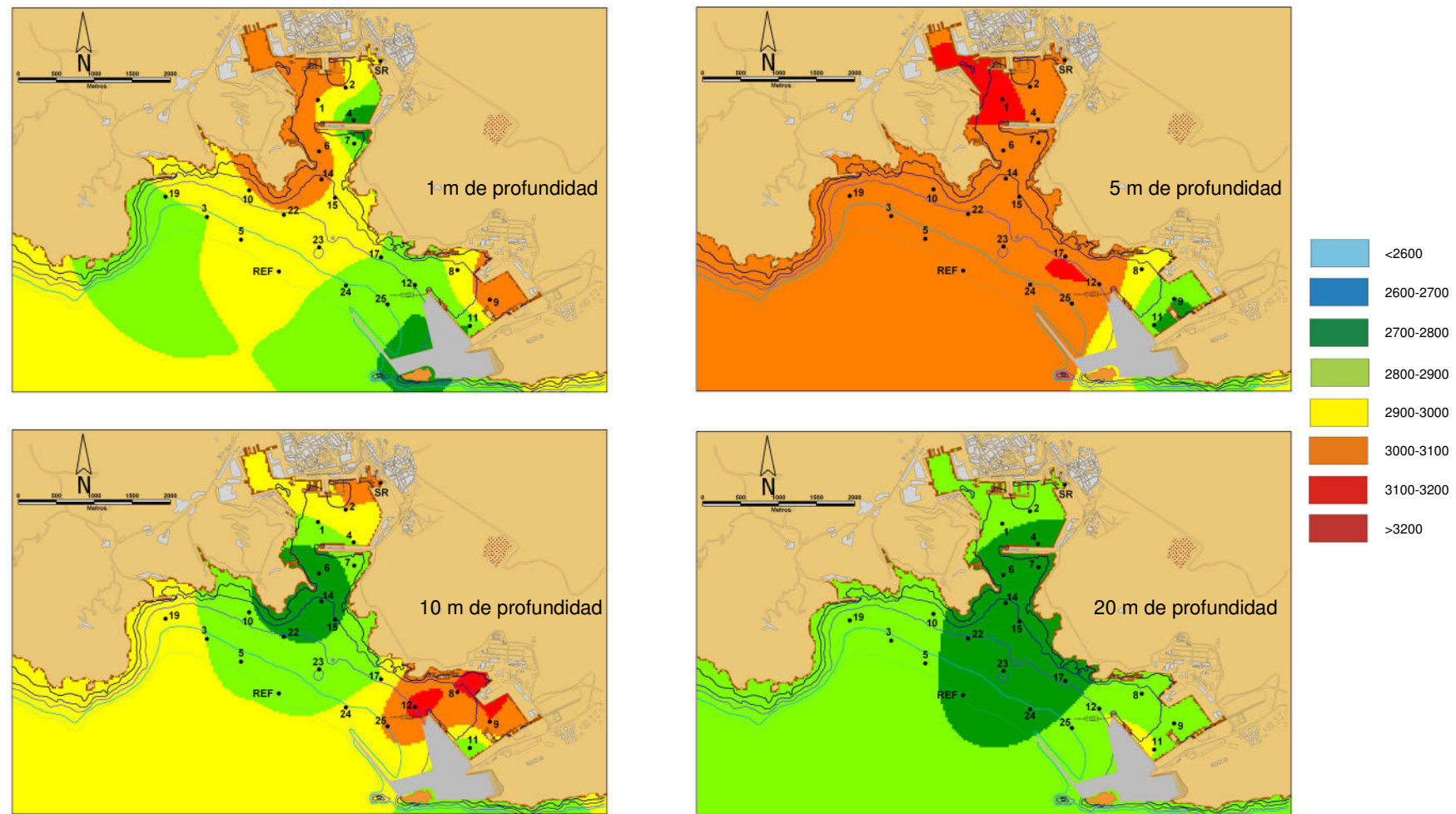


Figura 32. Mapas de distribución de sulfatos (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

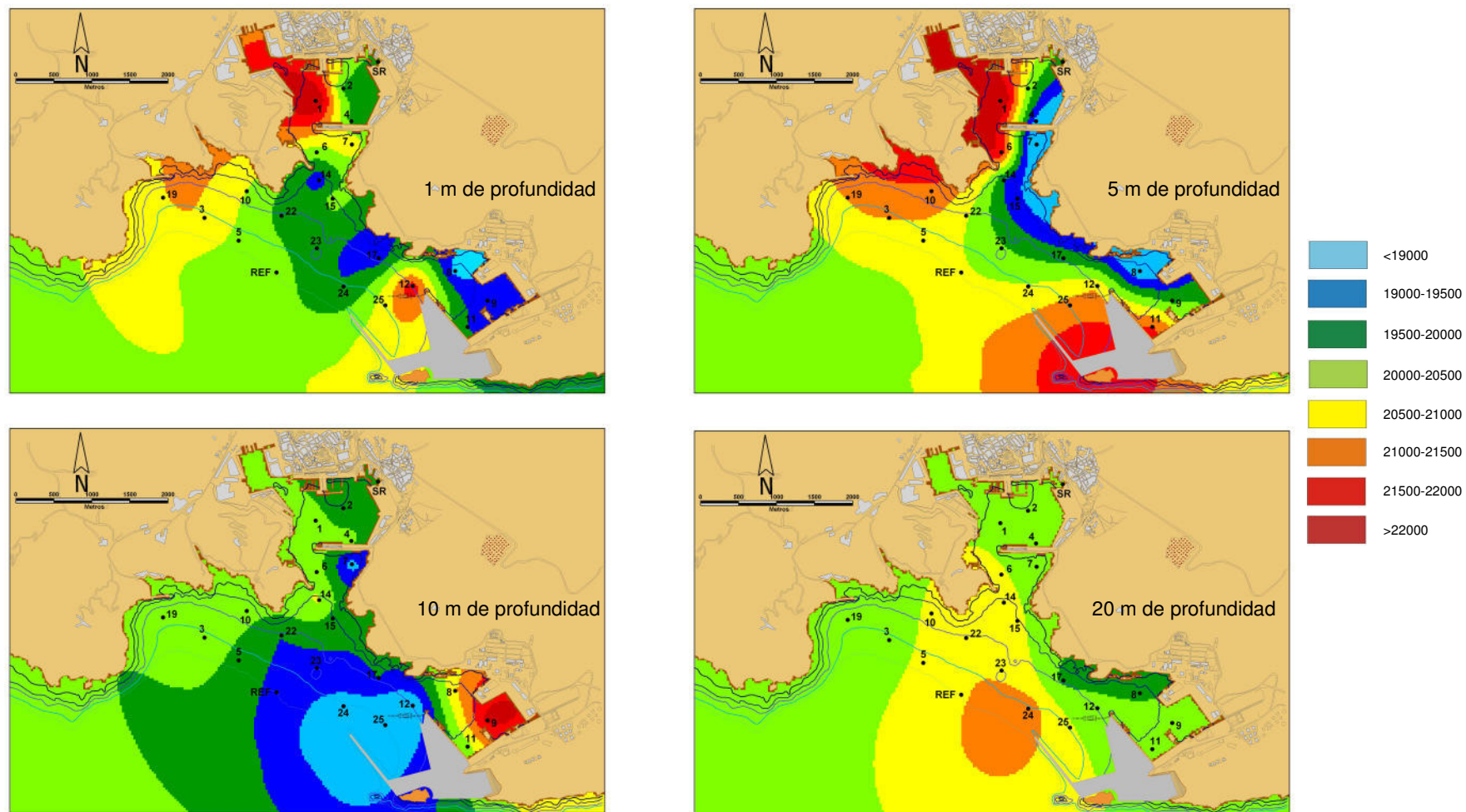


Figura 33. Mapas de distribución de cloruros (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

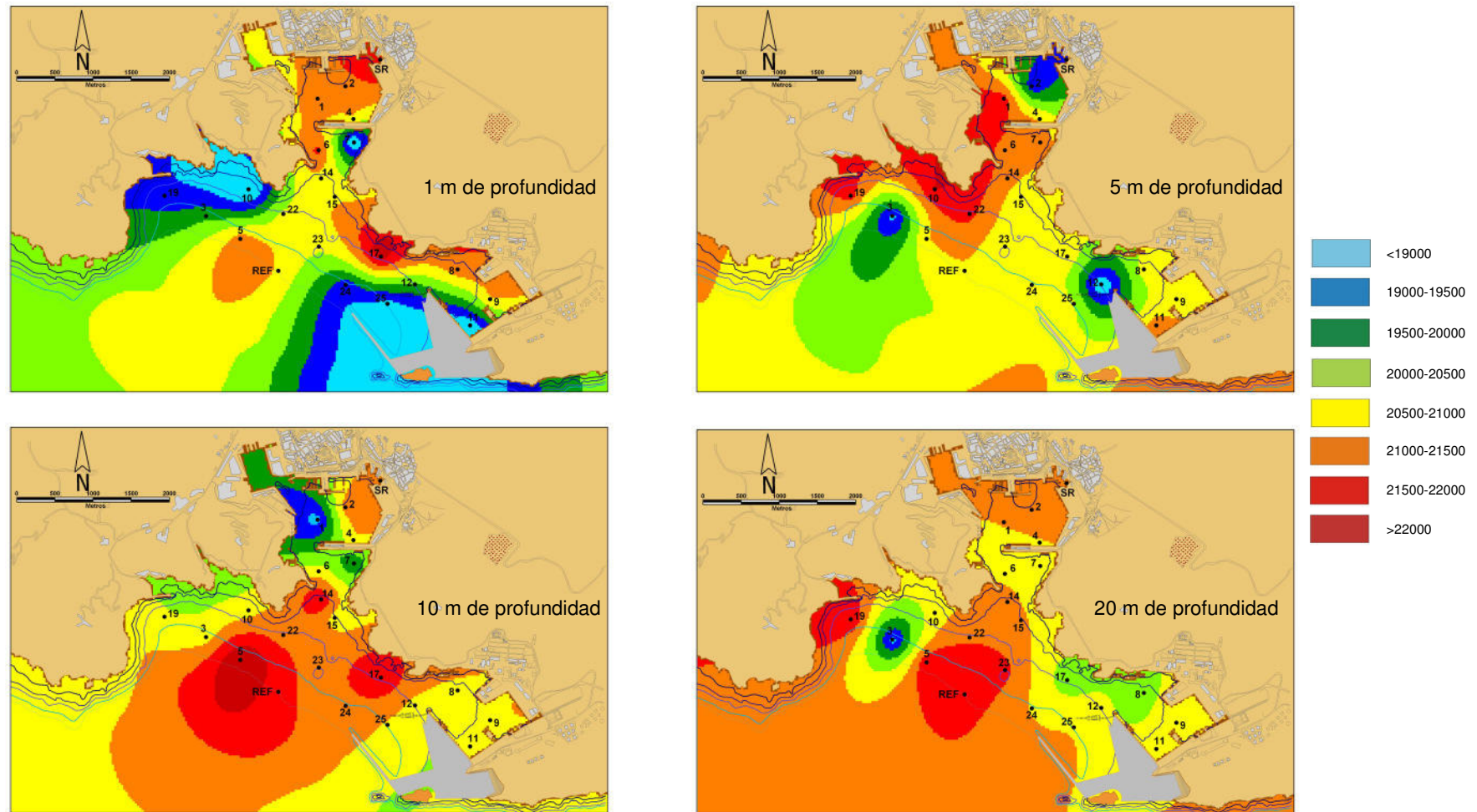


Figura 34. Mapas de distribución de cloruros (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

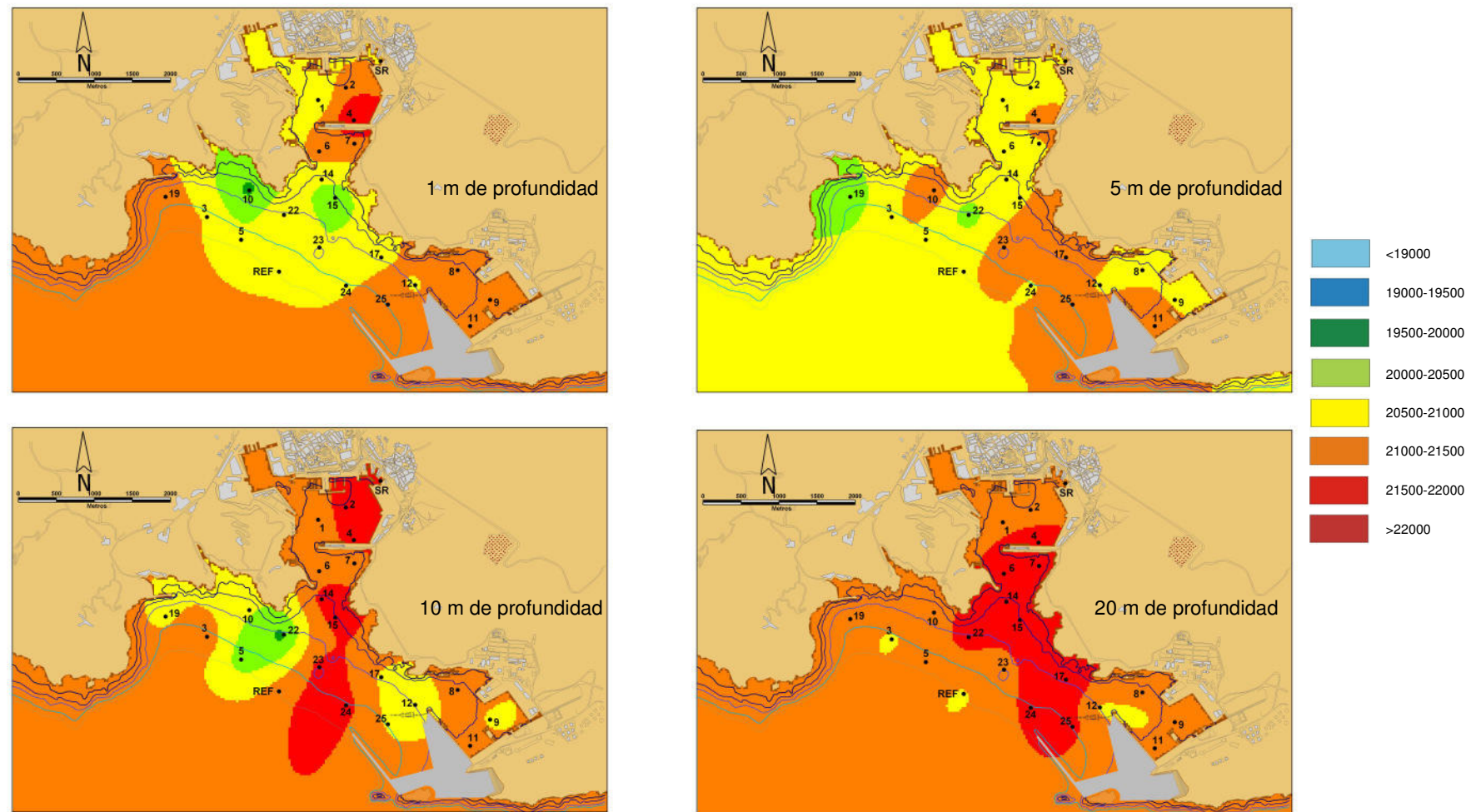


Figura 35. Mapas de distribución de cloruros (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

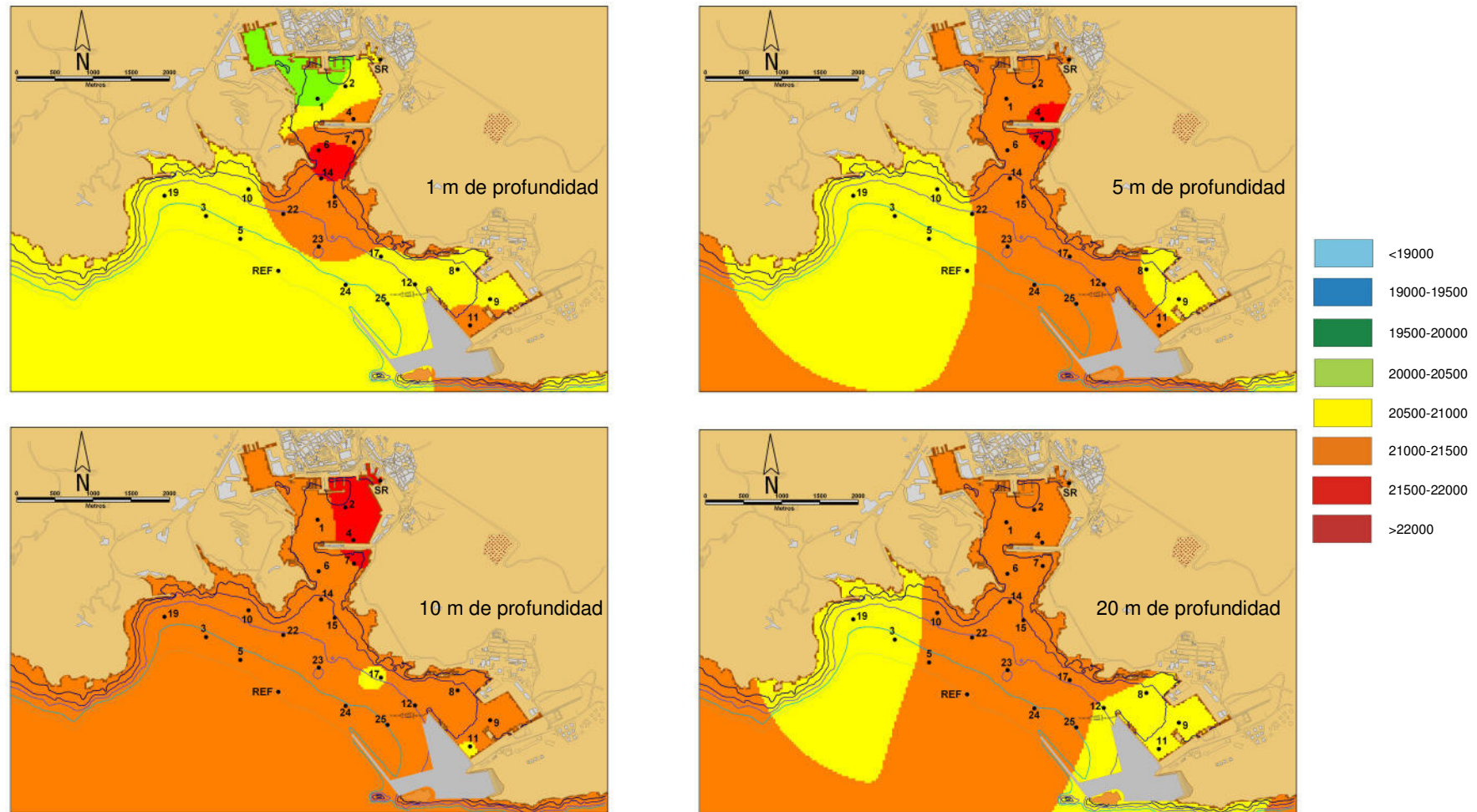


Figura 36. Mapas de distribución de cloruros (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

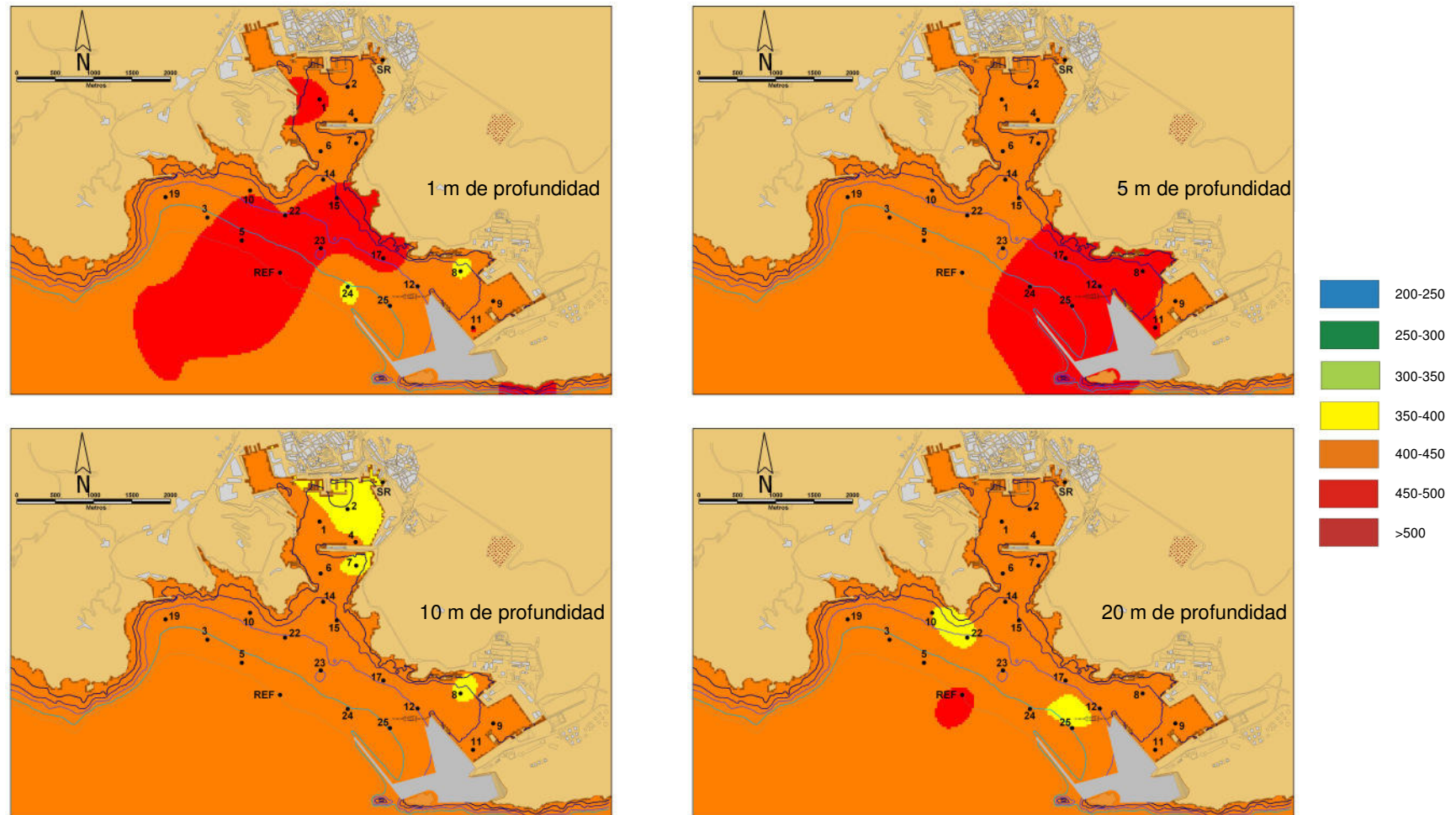


Figura 37. Mapas de distribución de calcio (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

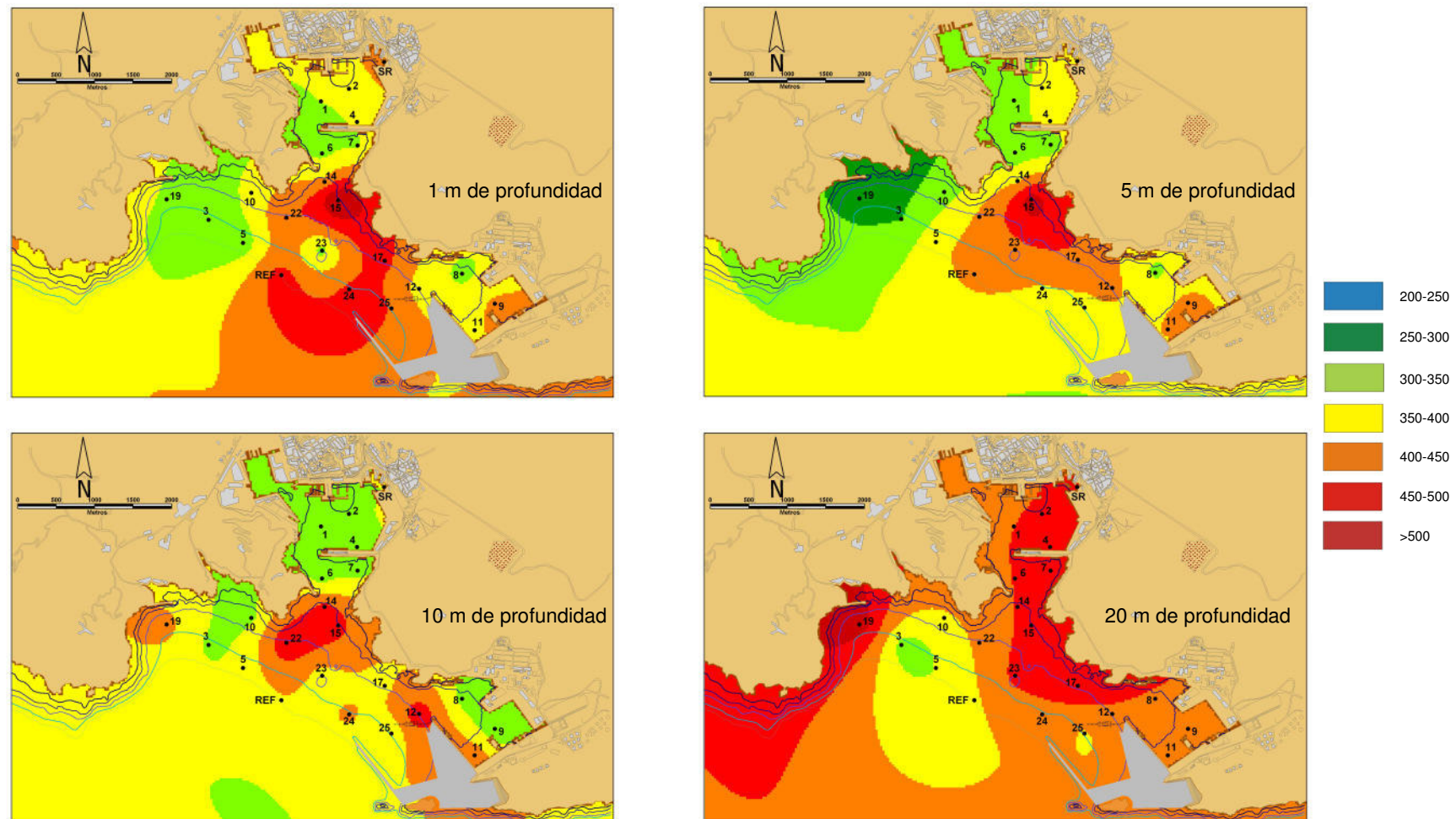


Figura 38. Mapas de distribución de calcio (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

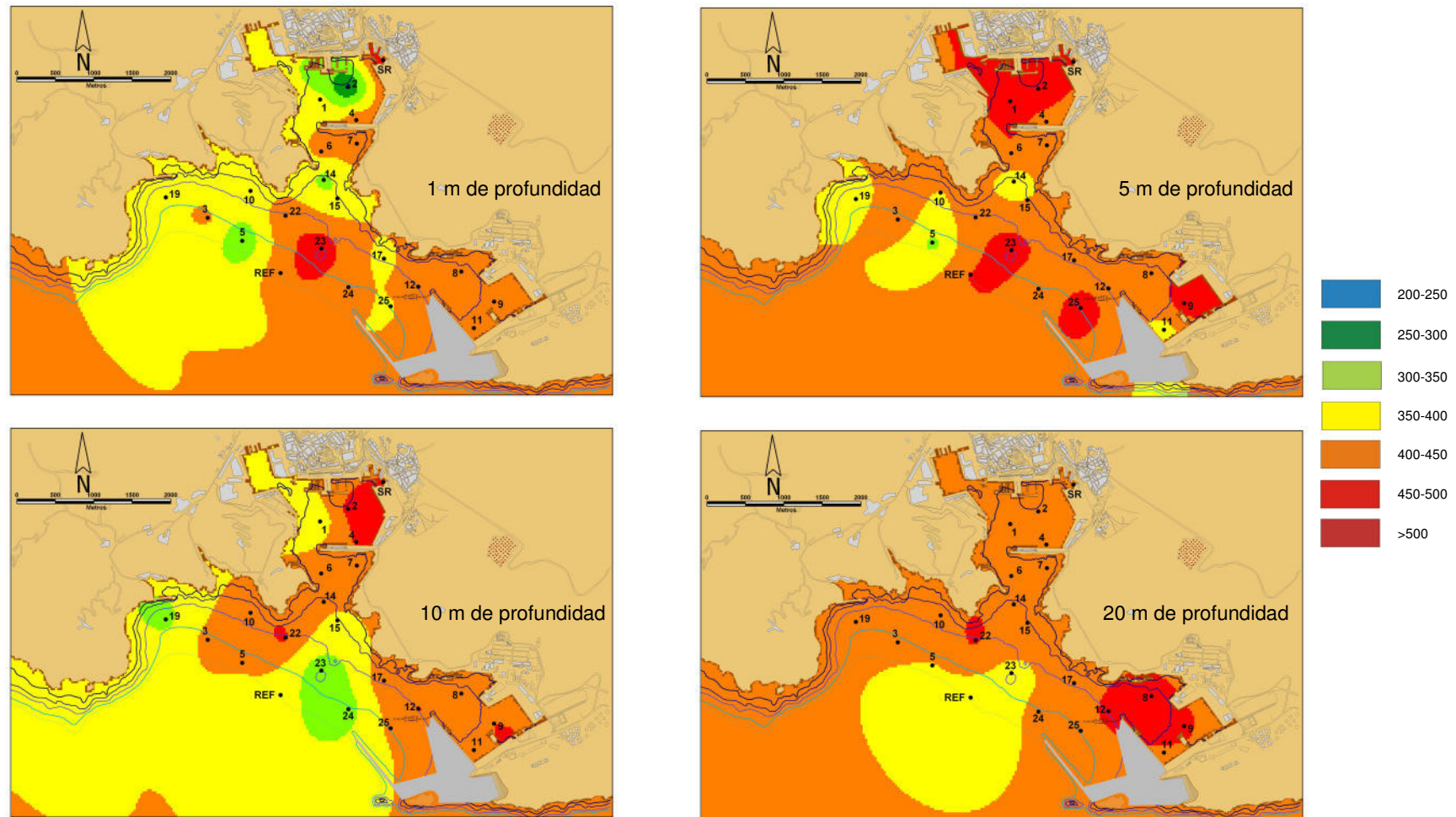


Figura 39. Mapas de distribución de calcio (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

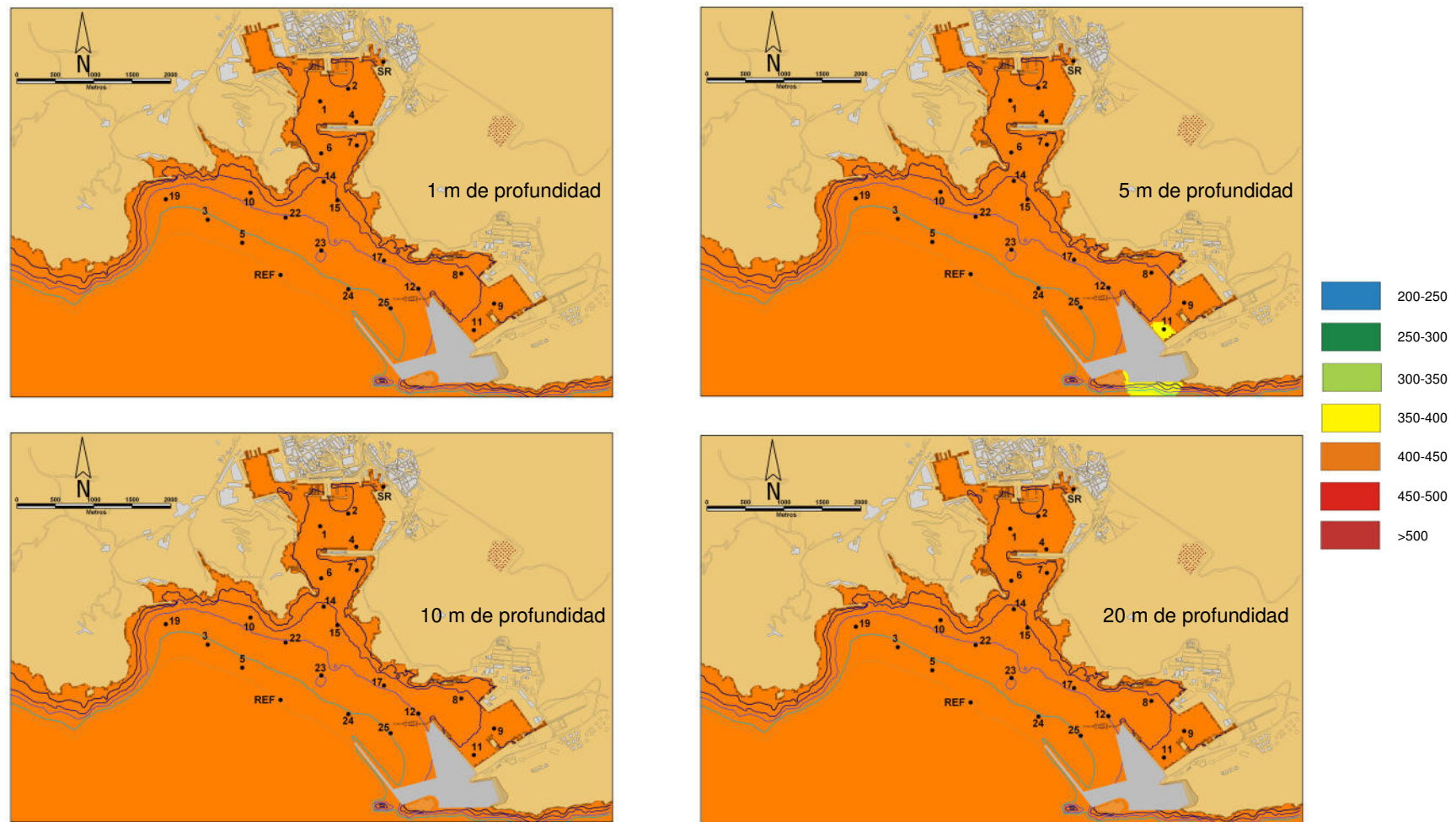


Figura 40. Mapas de distribución de calcio (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

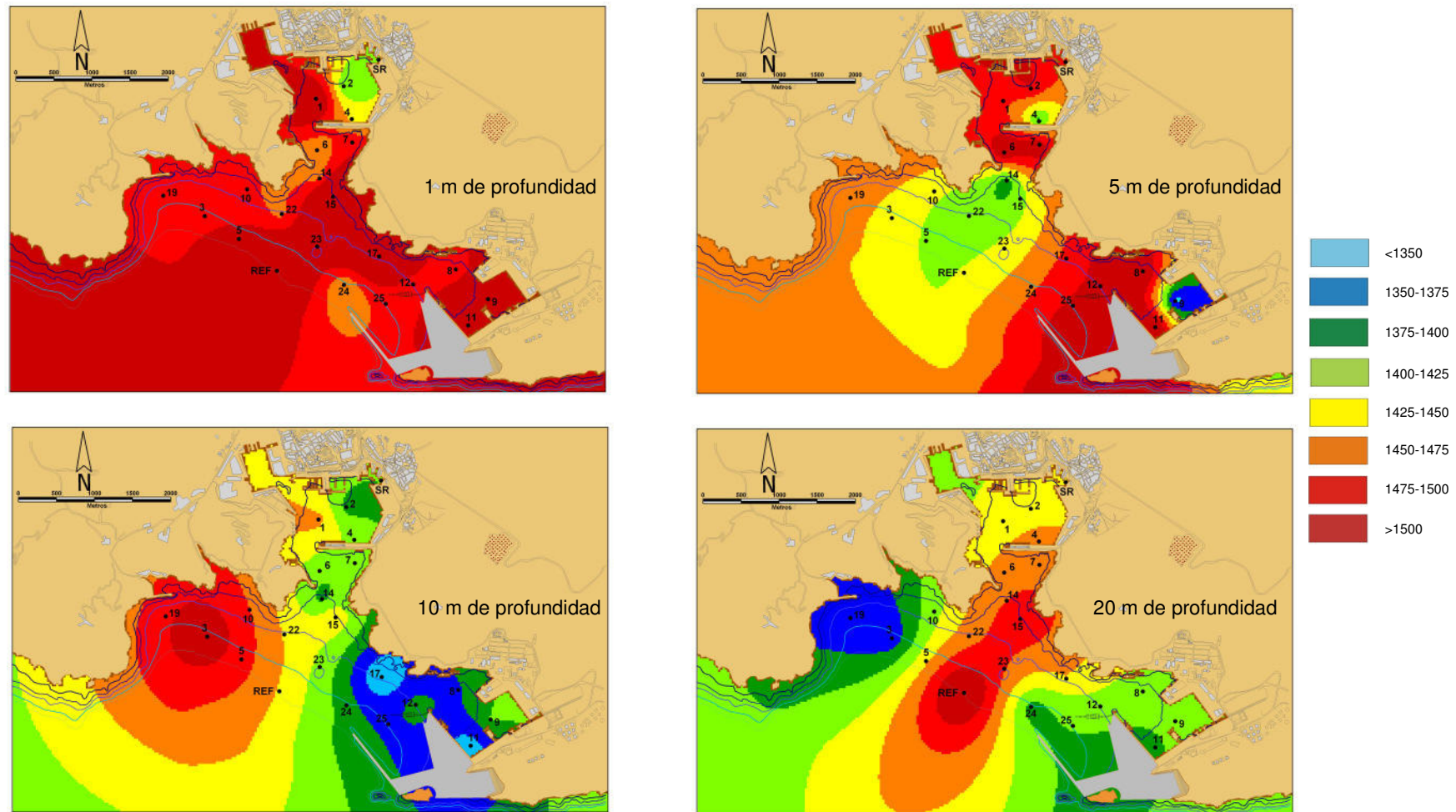


Figura 41. Mapas de distribución de magnesio (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

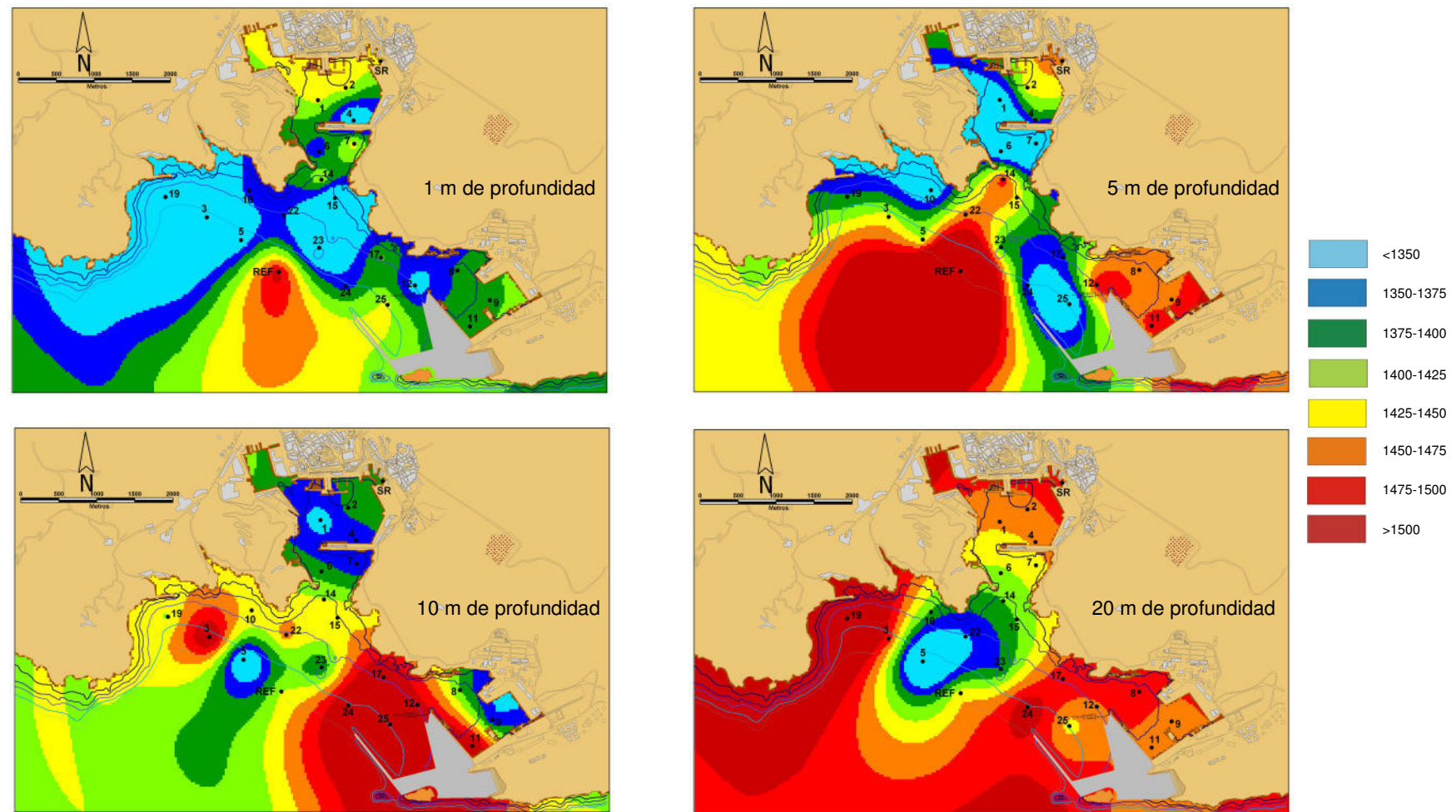


Figura 42. Mapas de distribución de magnesio (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

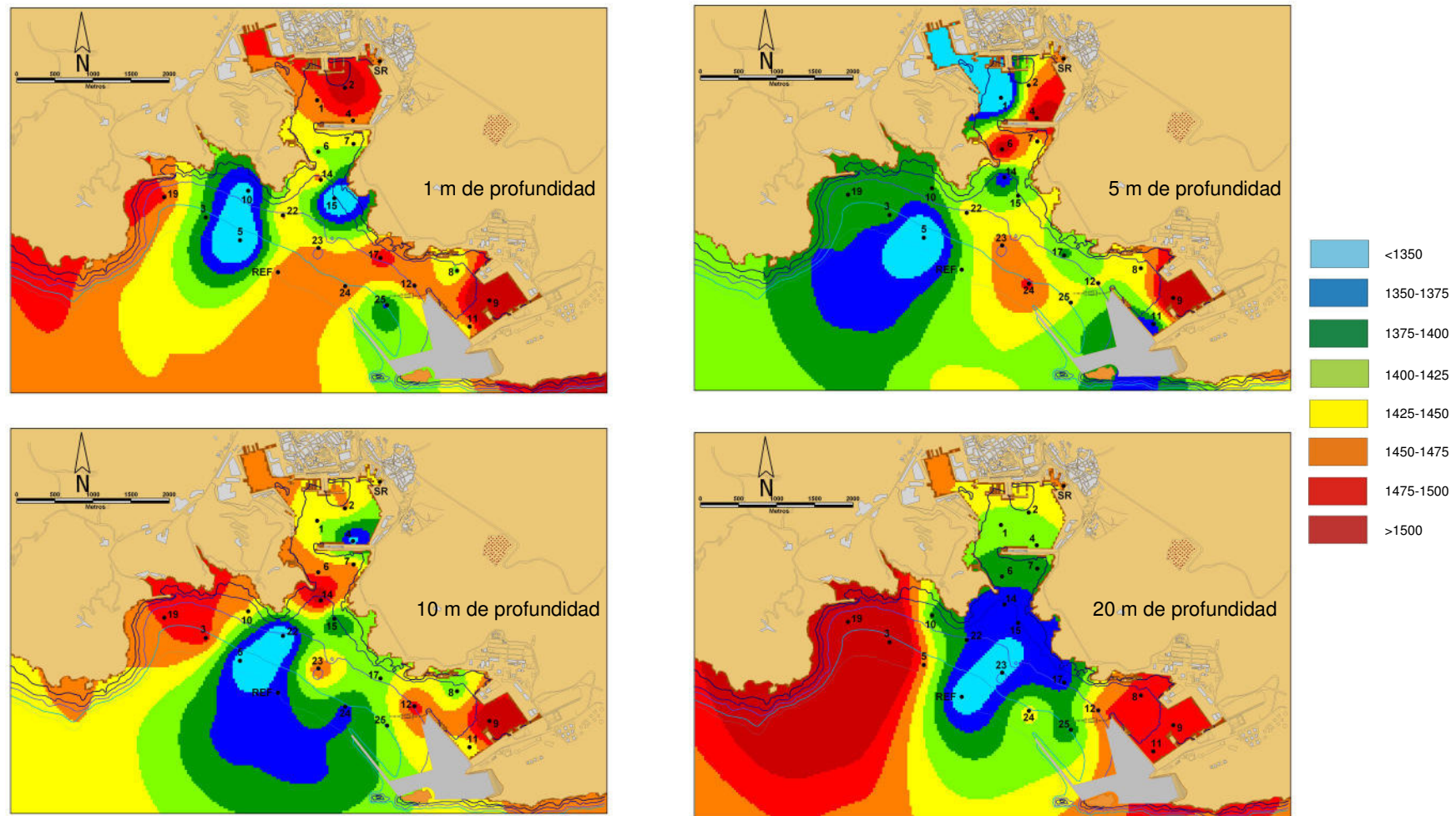


Figura 43. Mapas de distribución de magnesio (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

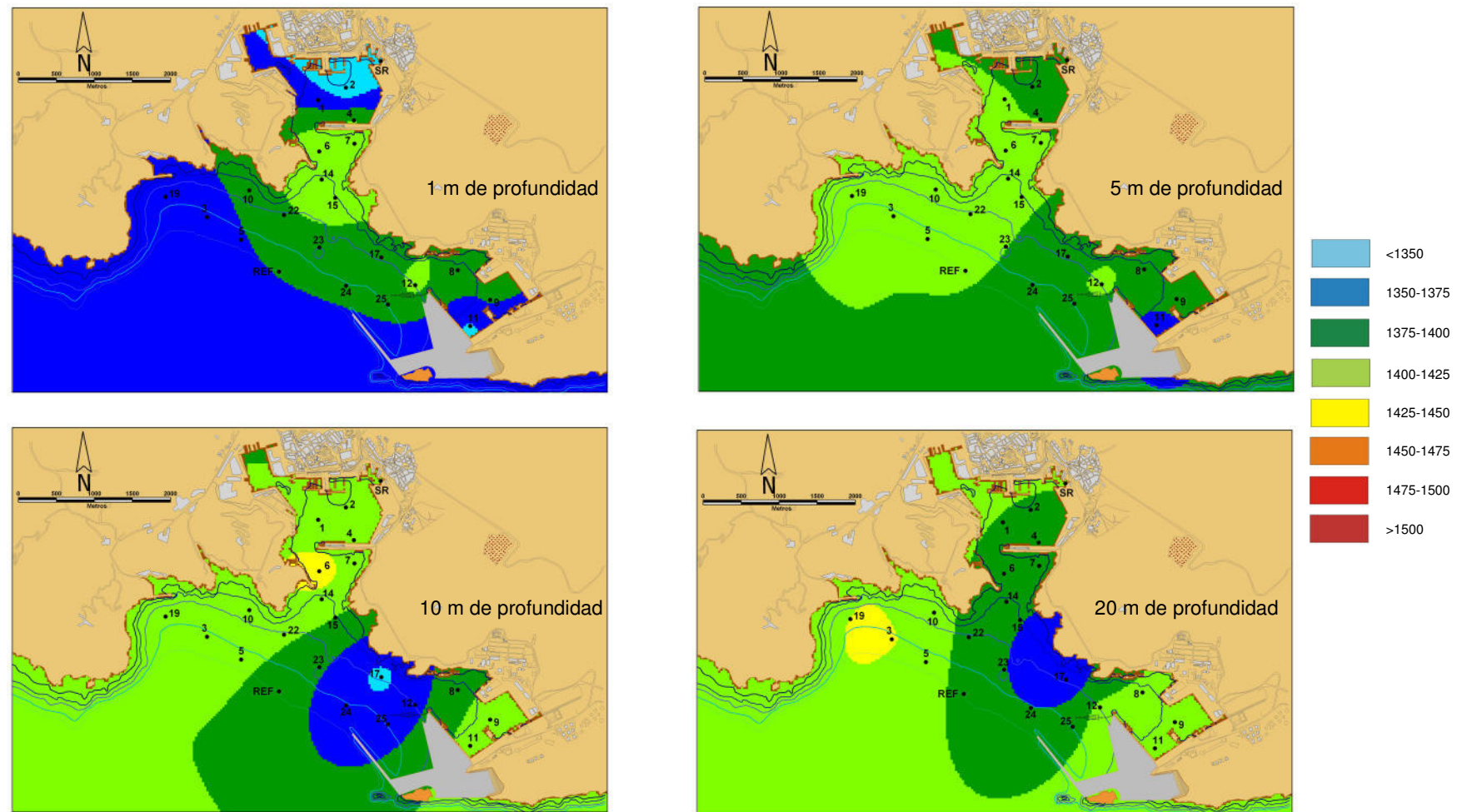


Figura 44. Mapas de distribución de magnesio (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

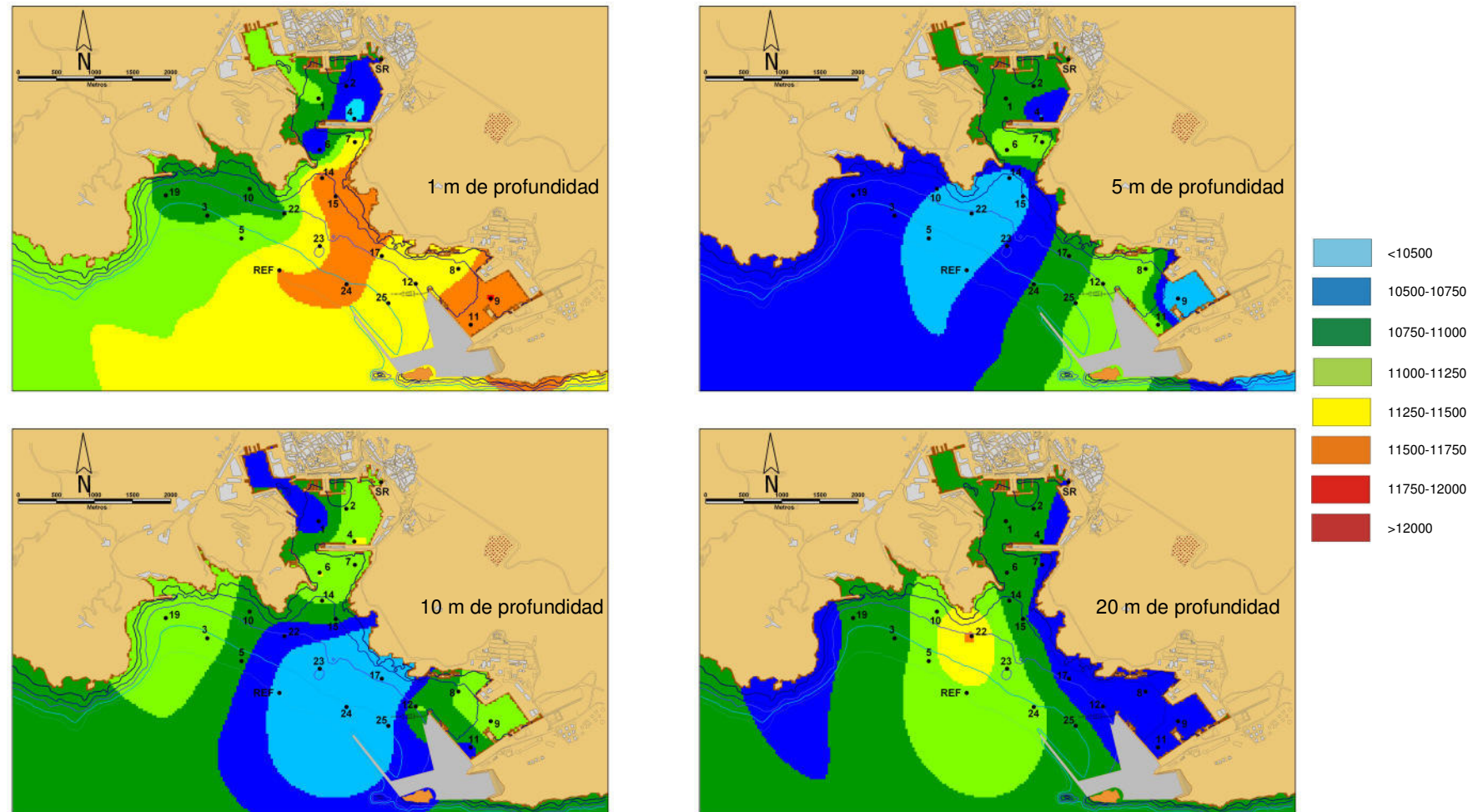


Figura 45. Mapas de distribución de sodio (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

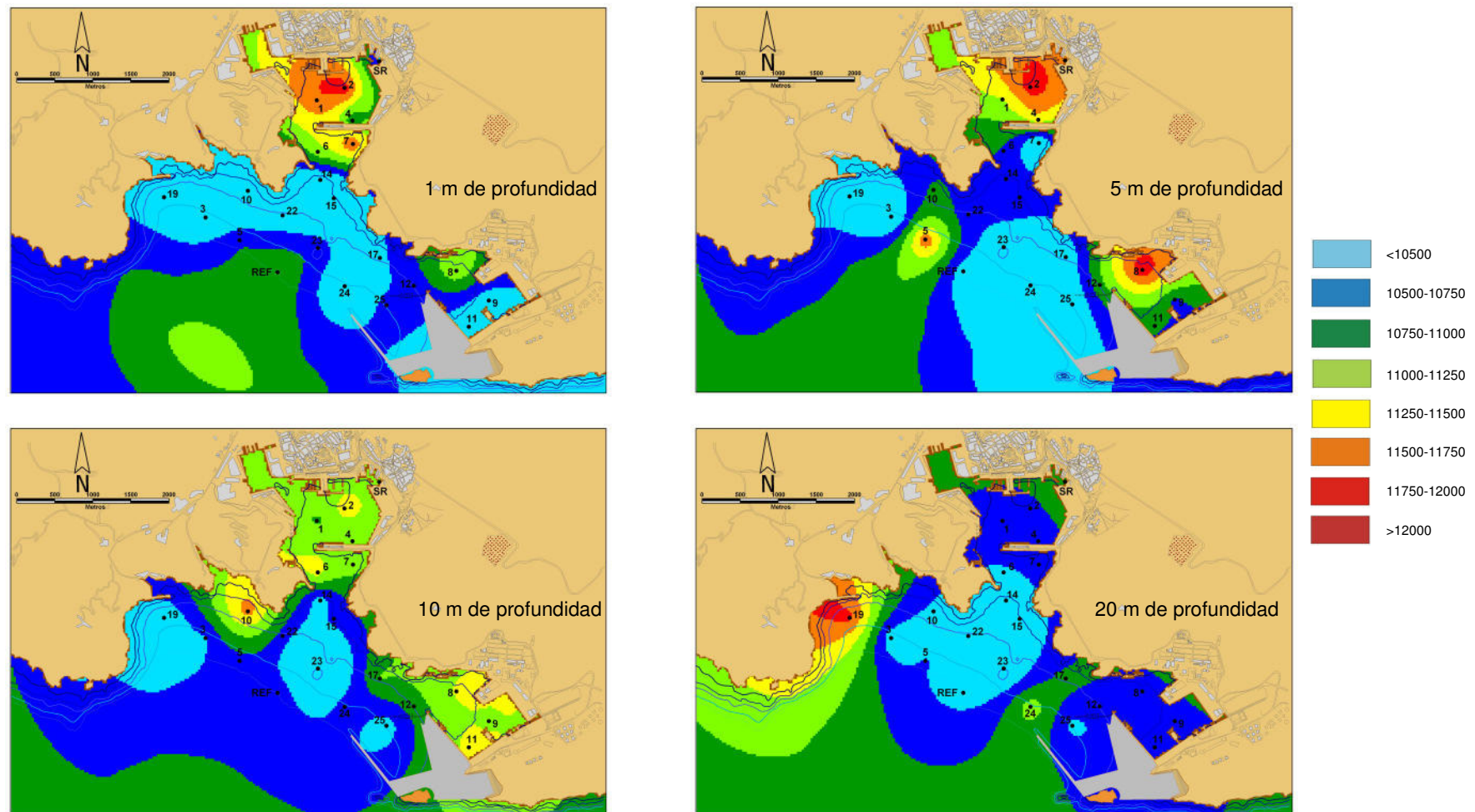


Figura 46. Mapas de distribución de sodio (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

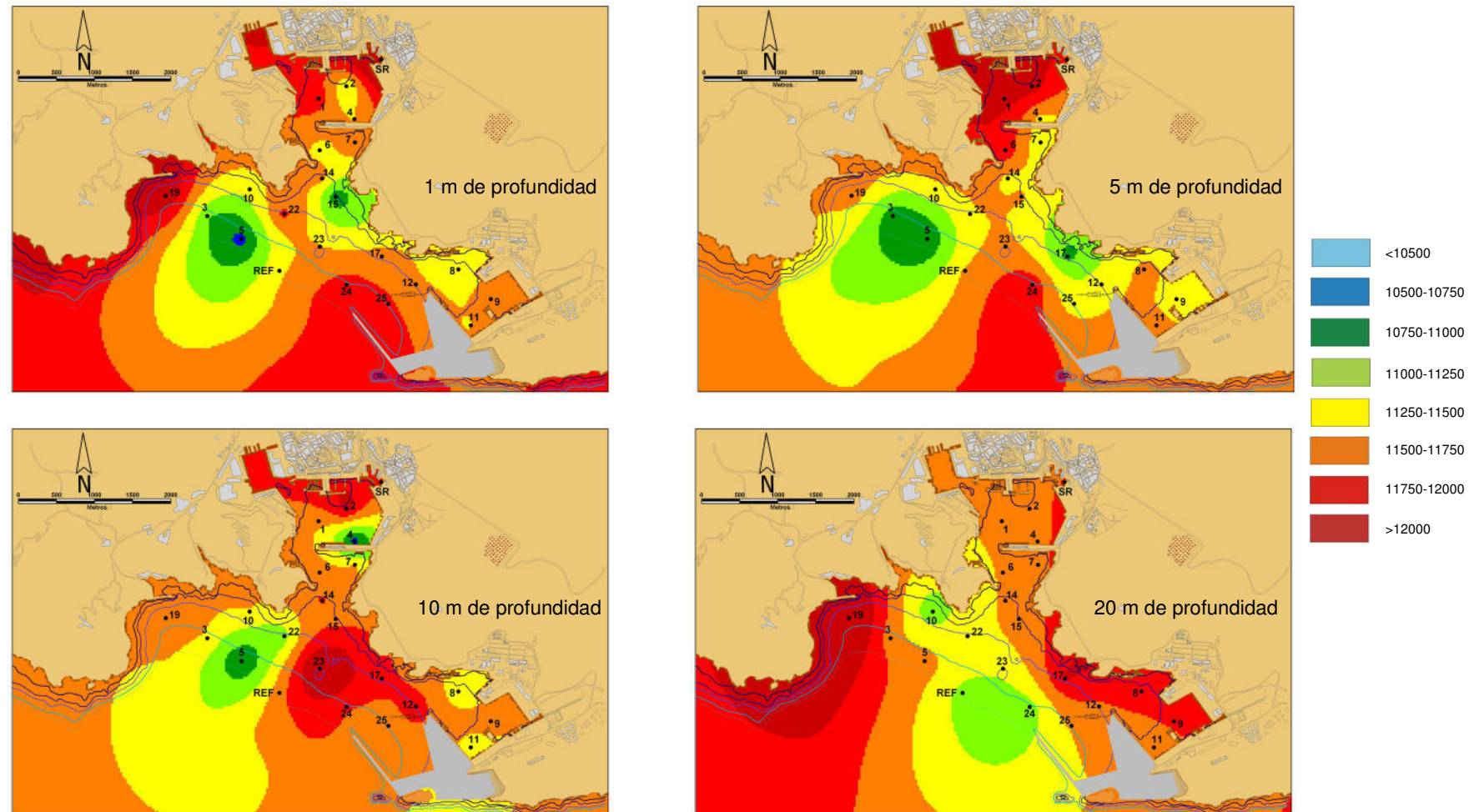


Figura 47. Mapas de distribución de sodio (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

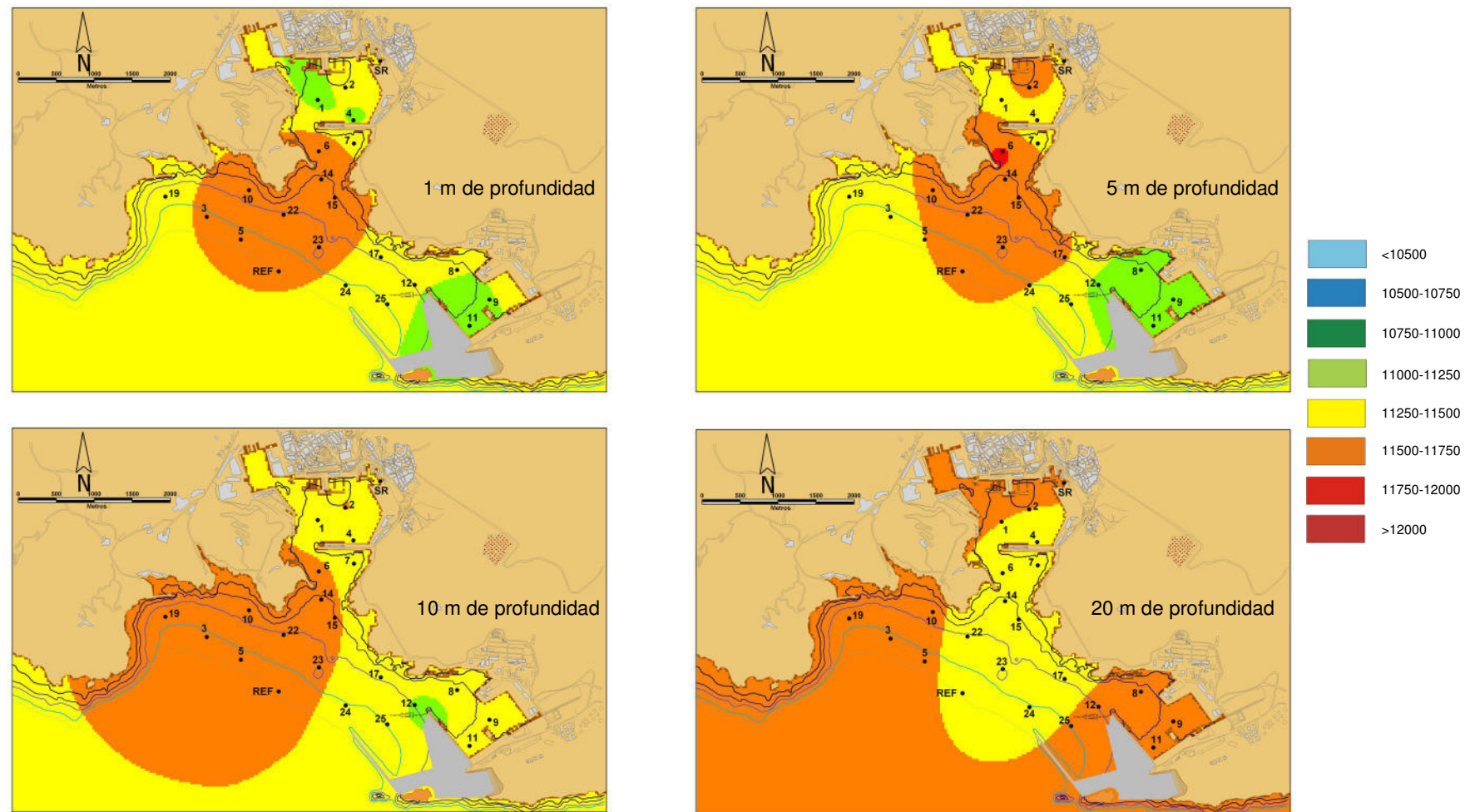


Figura 48. Mapas de distribución de sodio (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

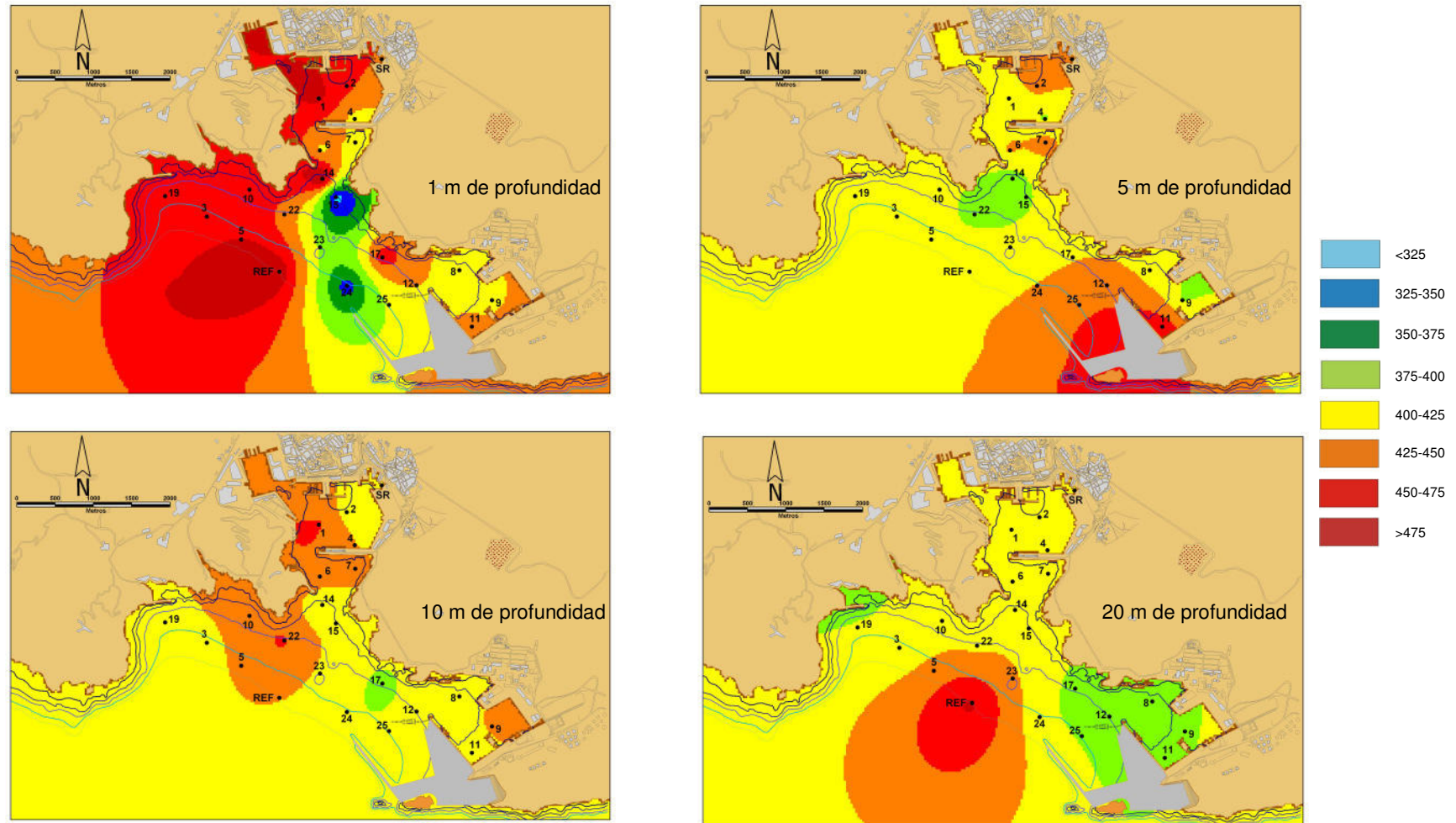


Figura 49. Mapas de distribución de potasio (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

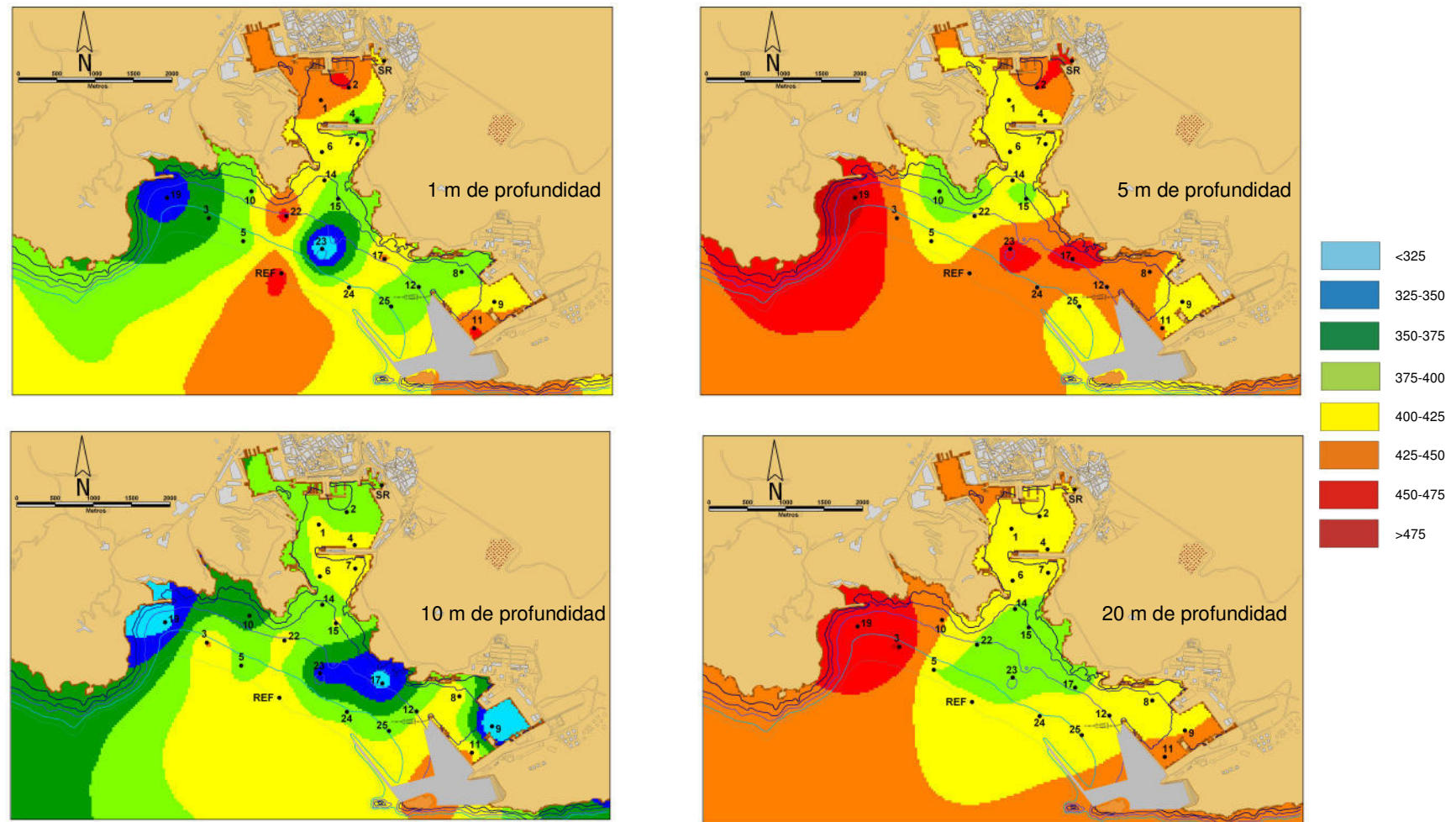


Figura 50. Mapas de distribución de potasio (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

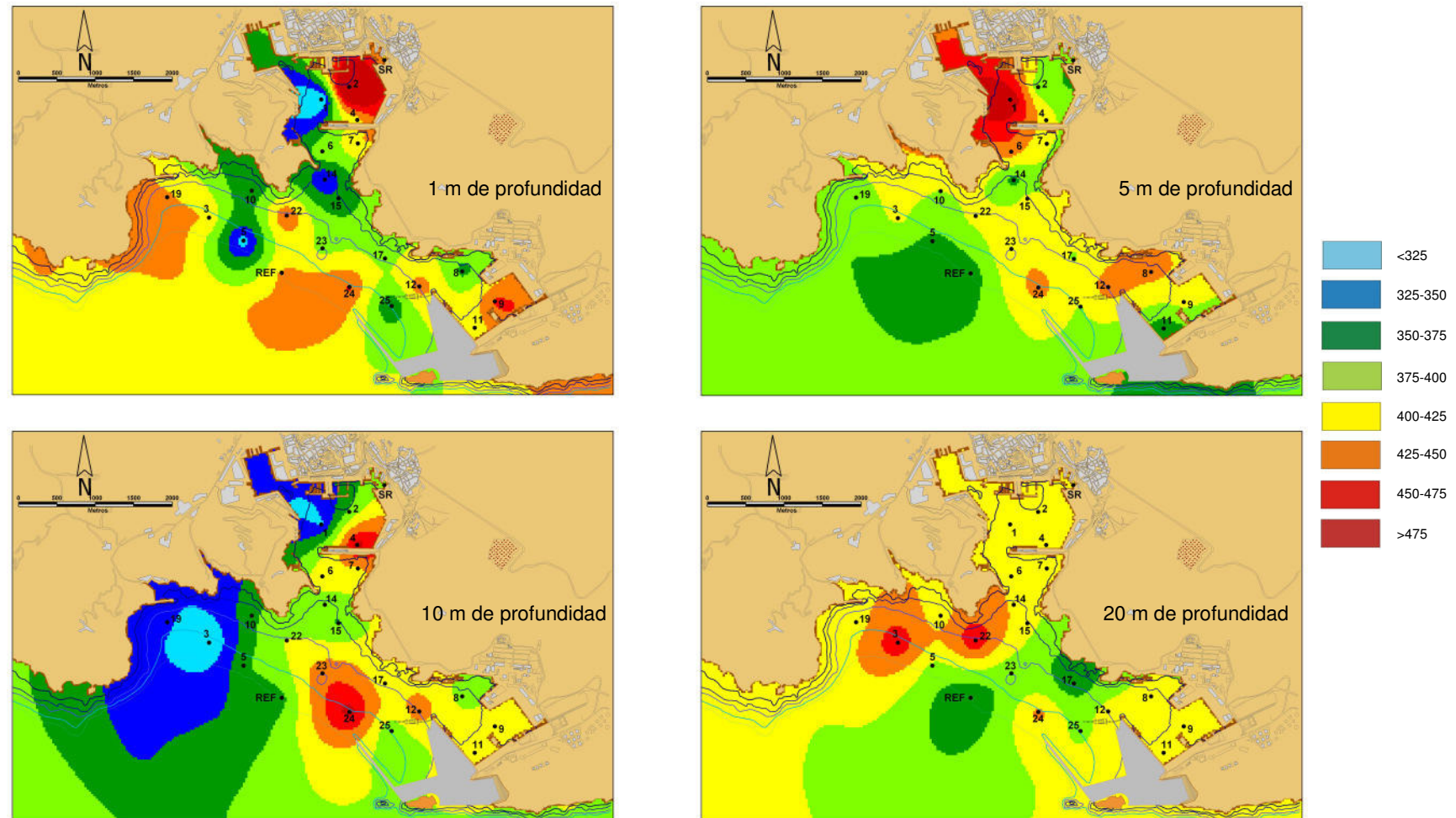


Figura 51. Mapas de distribución de potasio (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

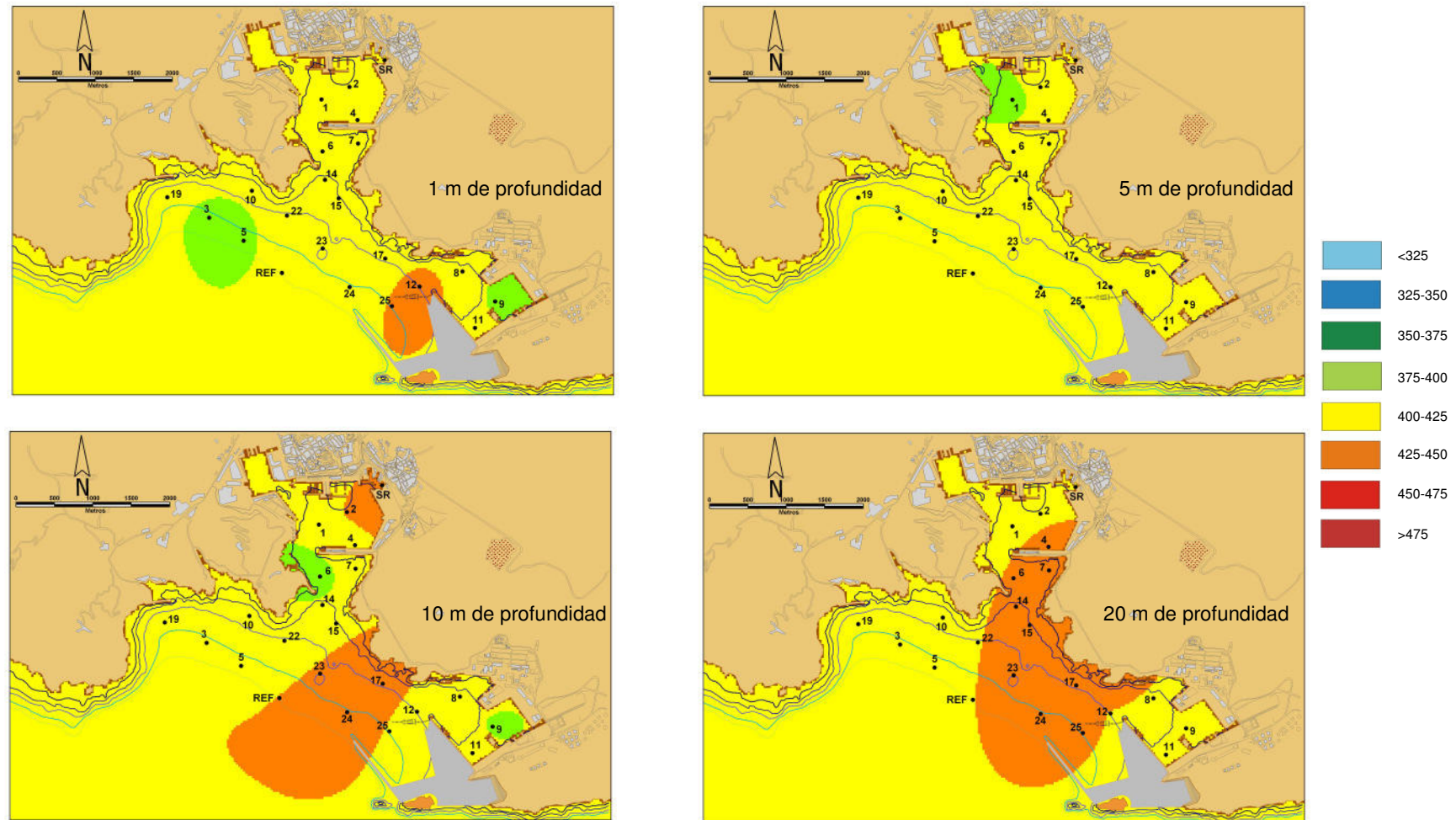


Figura 52. Mapas de distribución de potasio (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

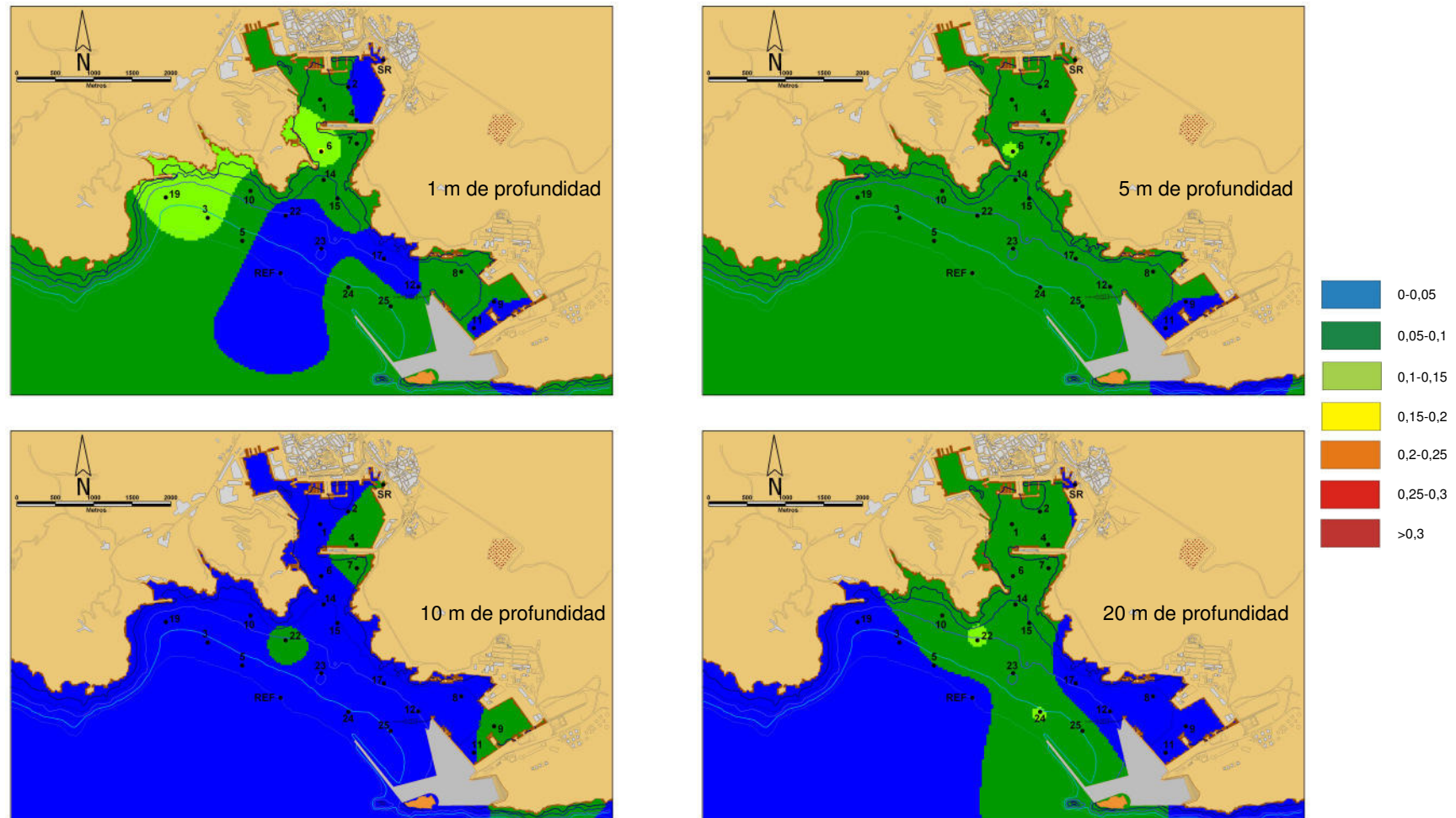


Figura 53. Mapas de distribución de hierro (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

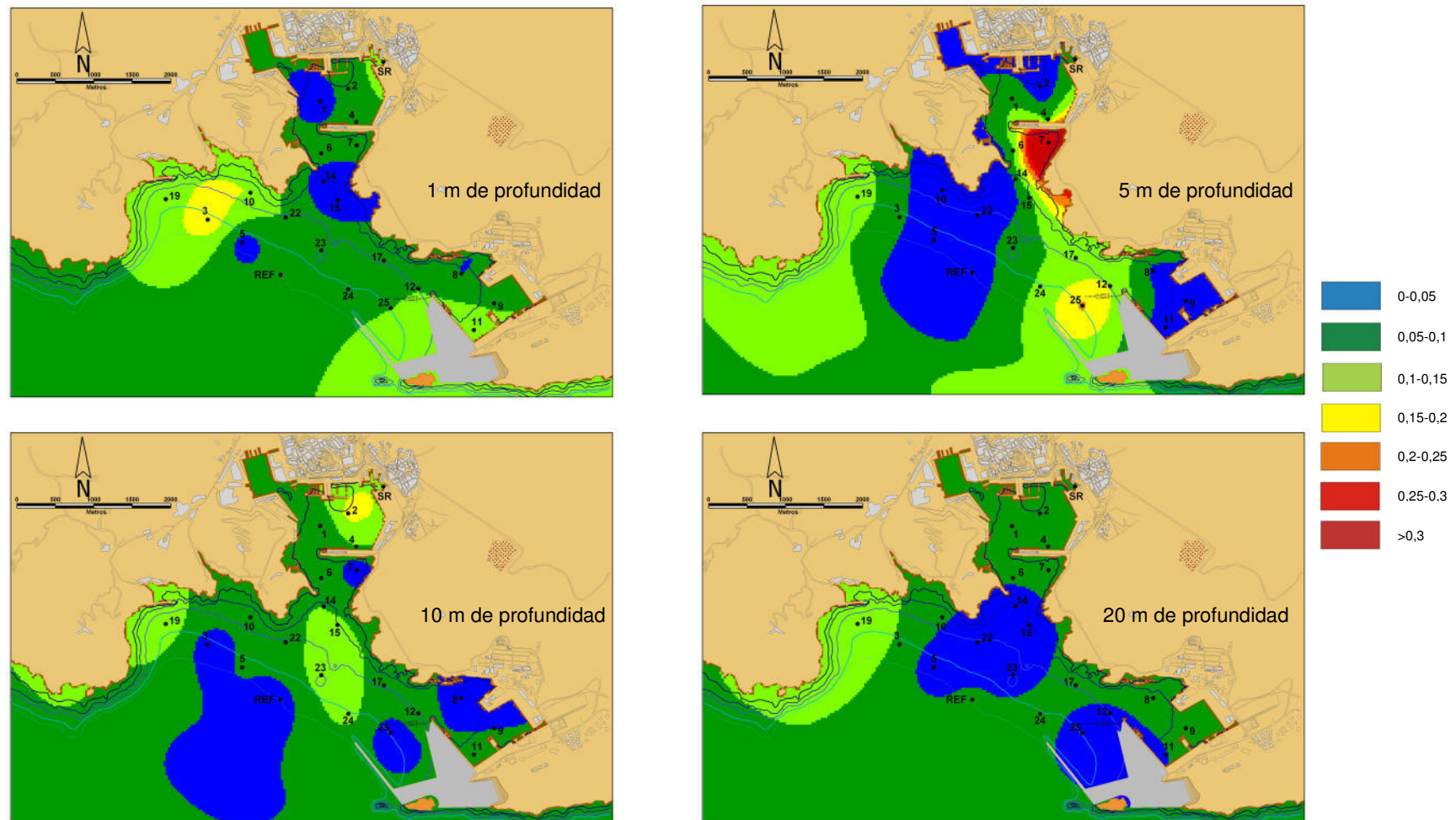


Figura 54. Mapas de distribución de hierro (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

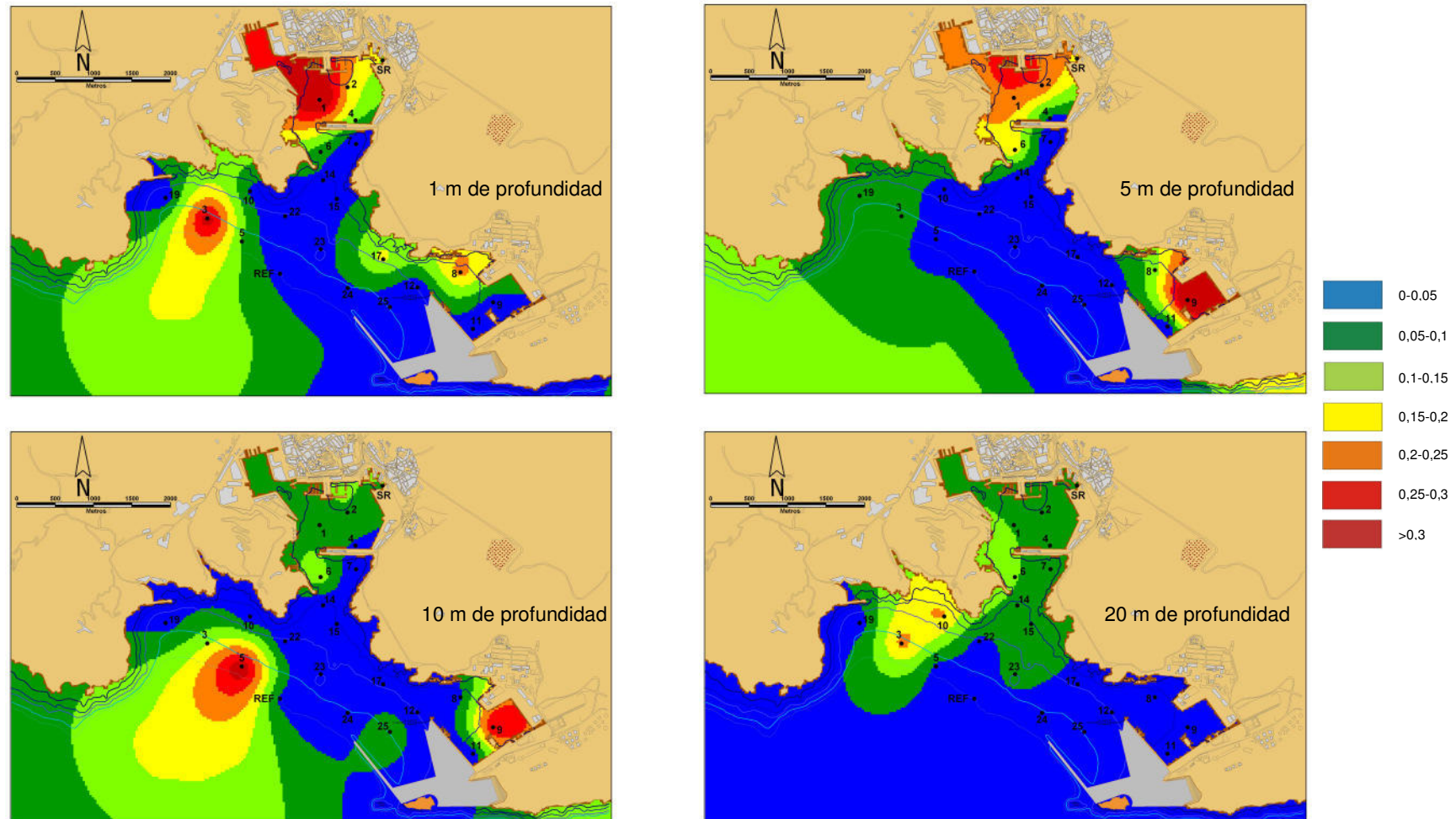


Figura 55. Mapas de distribución de hierro (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

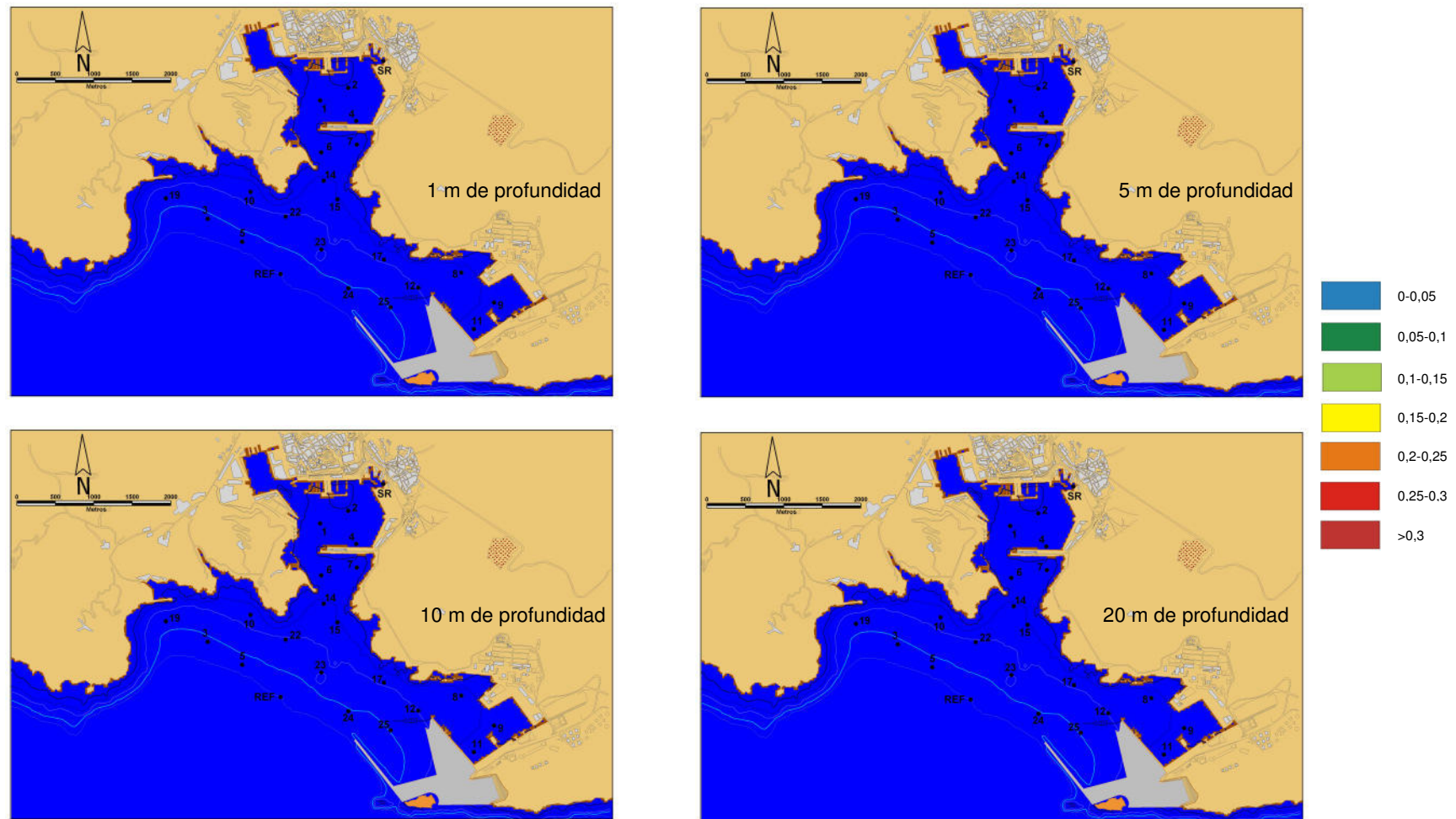


Figura 56. Mapas de distribución de hierro (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

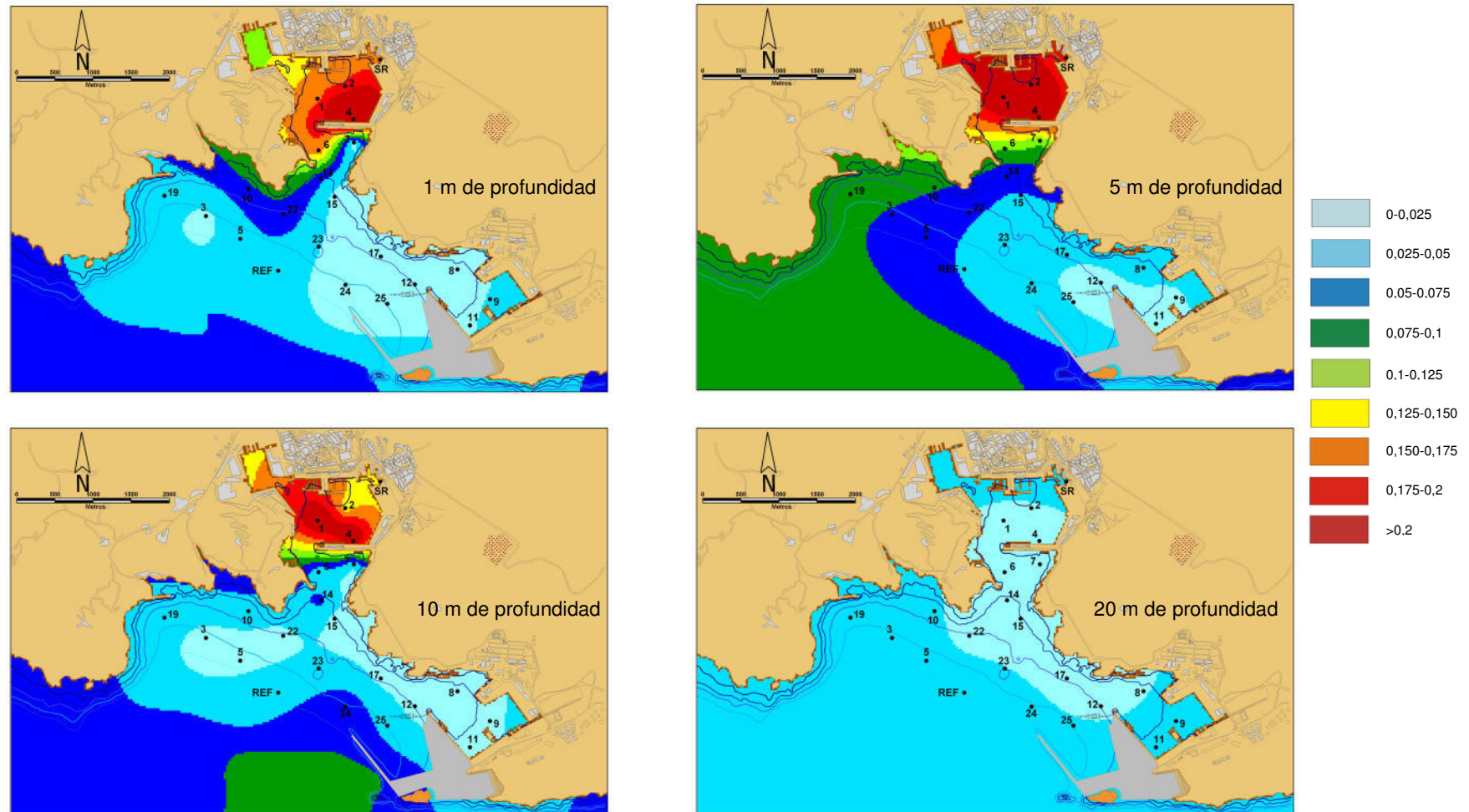


Figura 57. Mapas de distribución de zinc (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

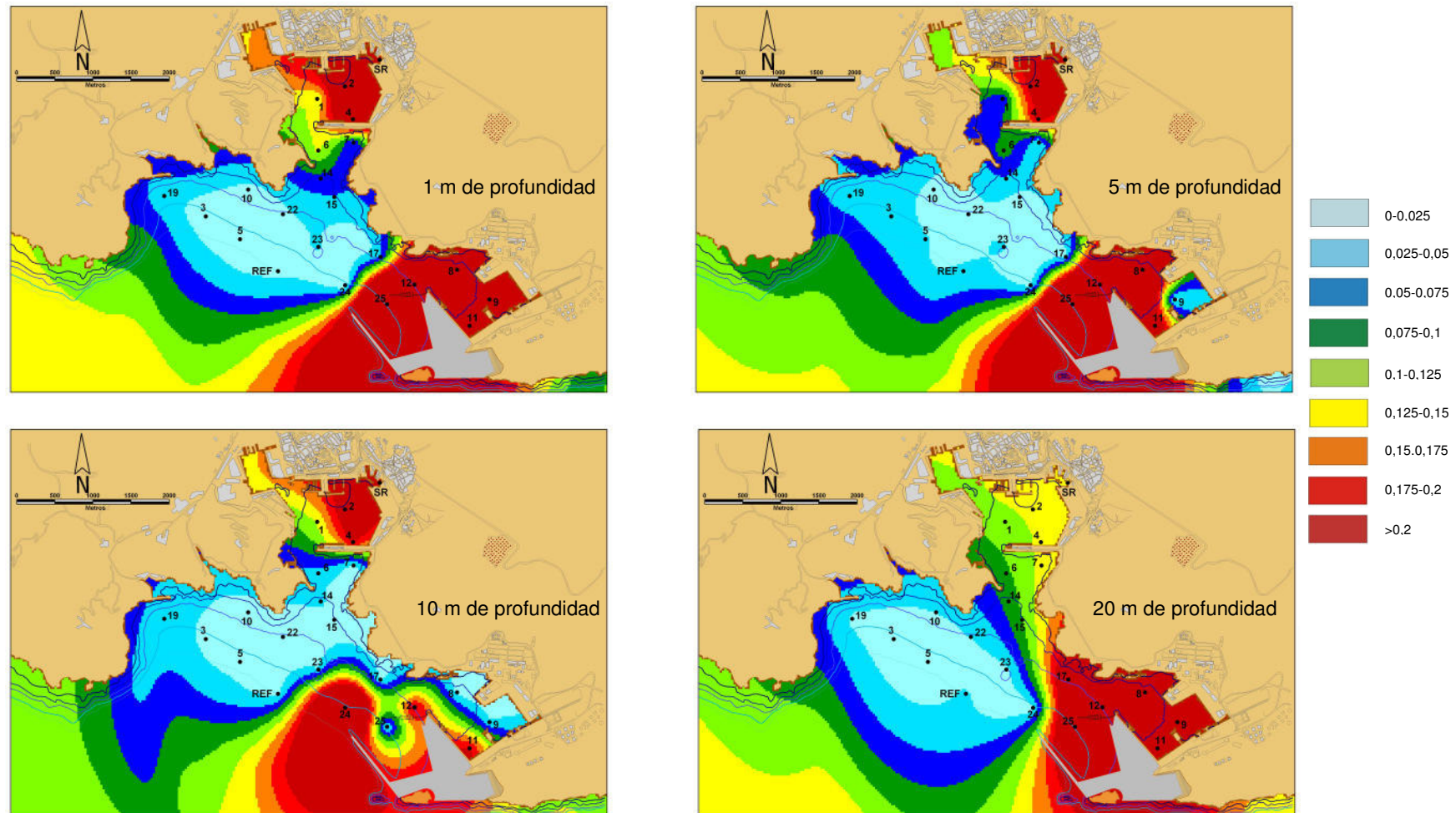


Figura 58. Mapas de distribución de zinc (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

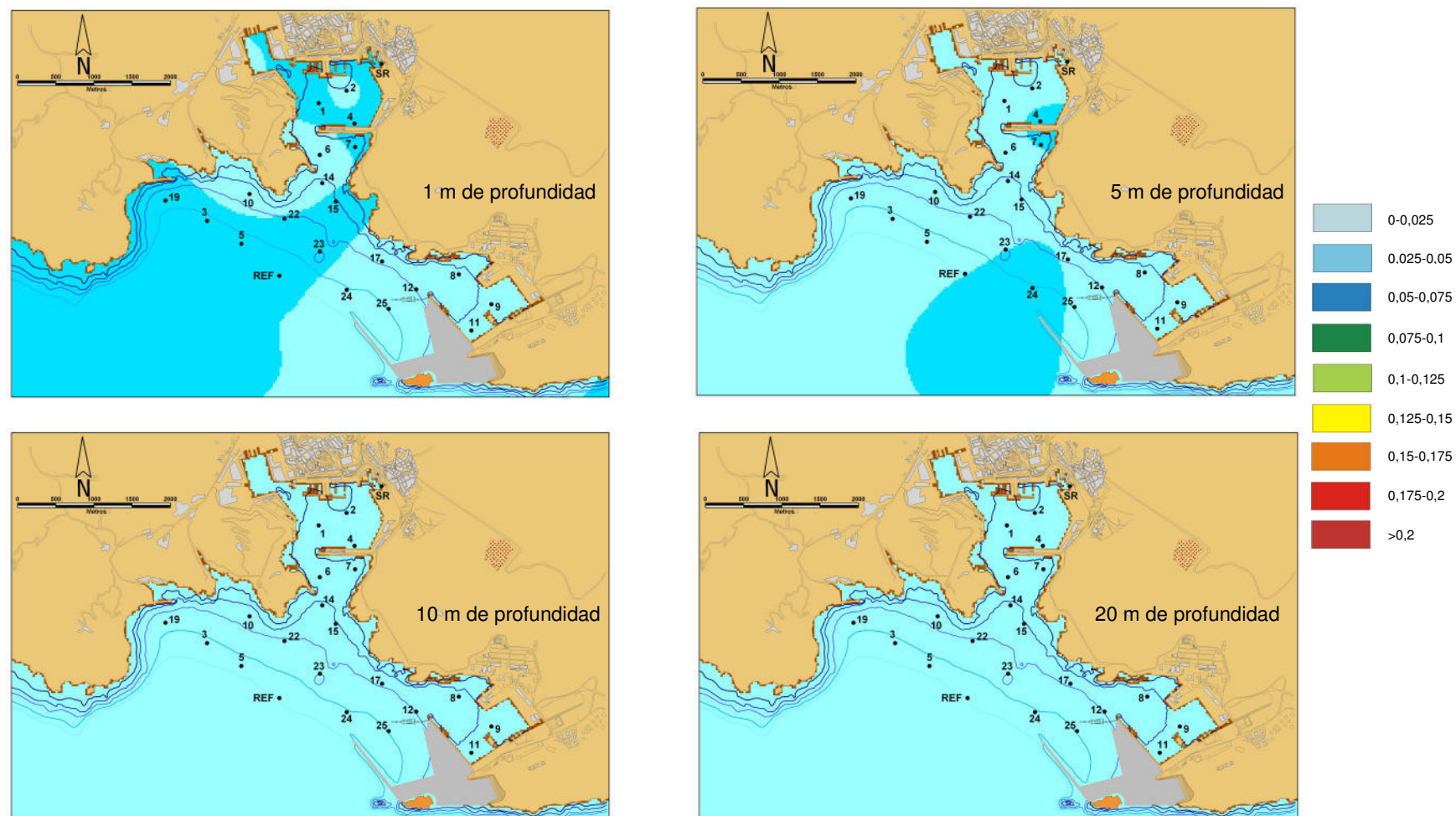


Figura 59. Mapas de distribución de zinc (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

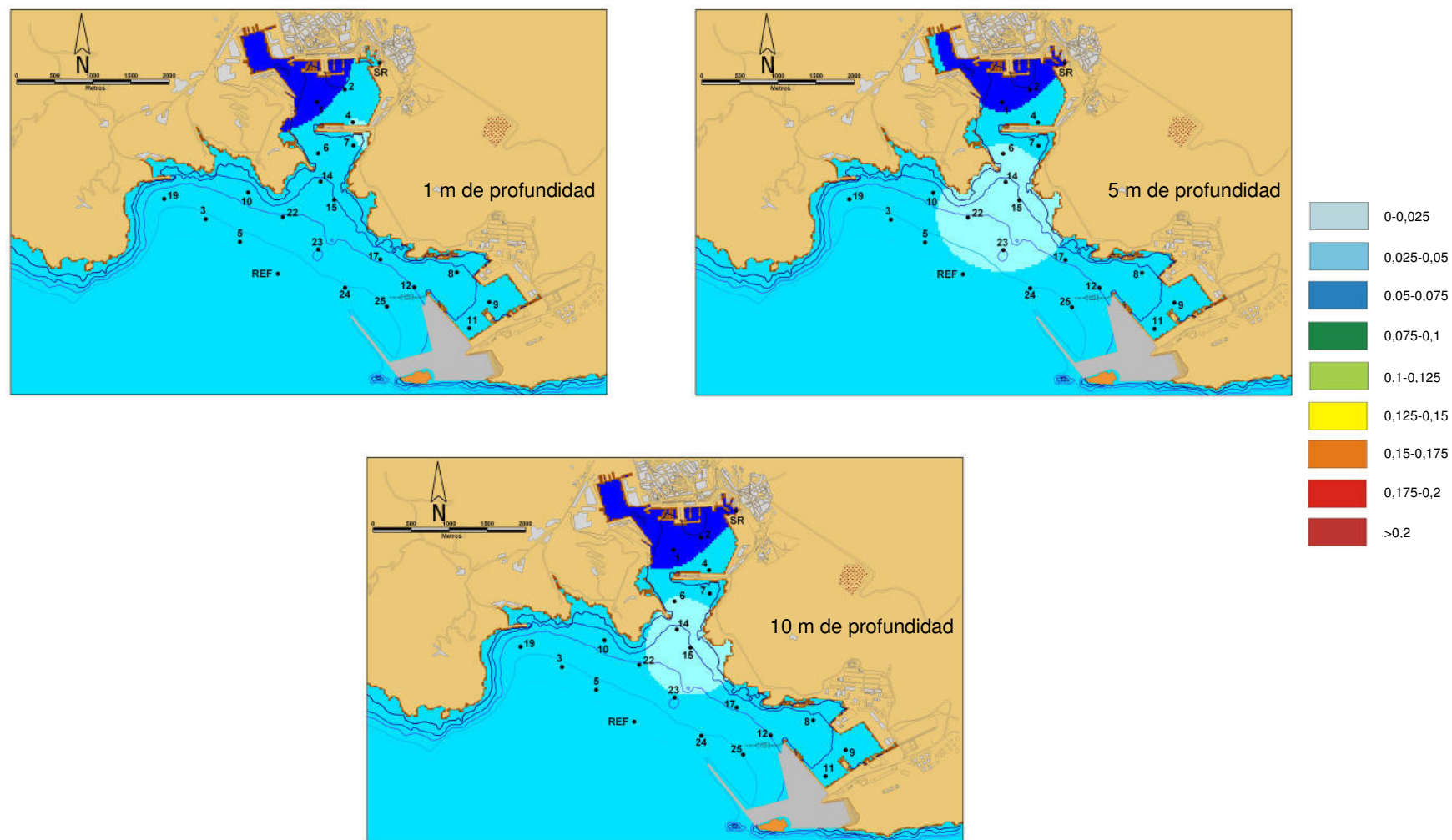


Figura 60. Mapas de distribución de zinc (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5 y 10 m de profundidad

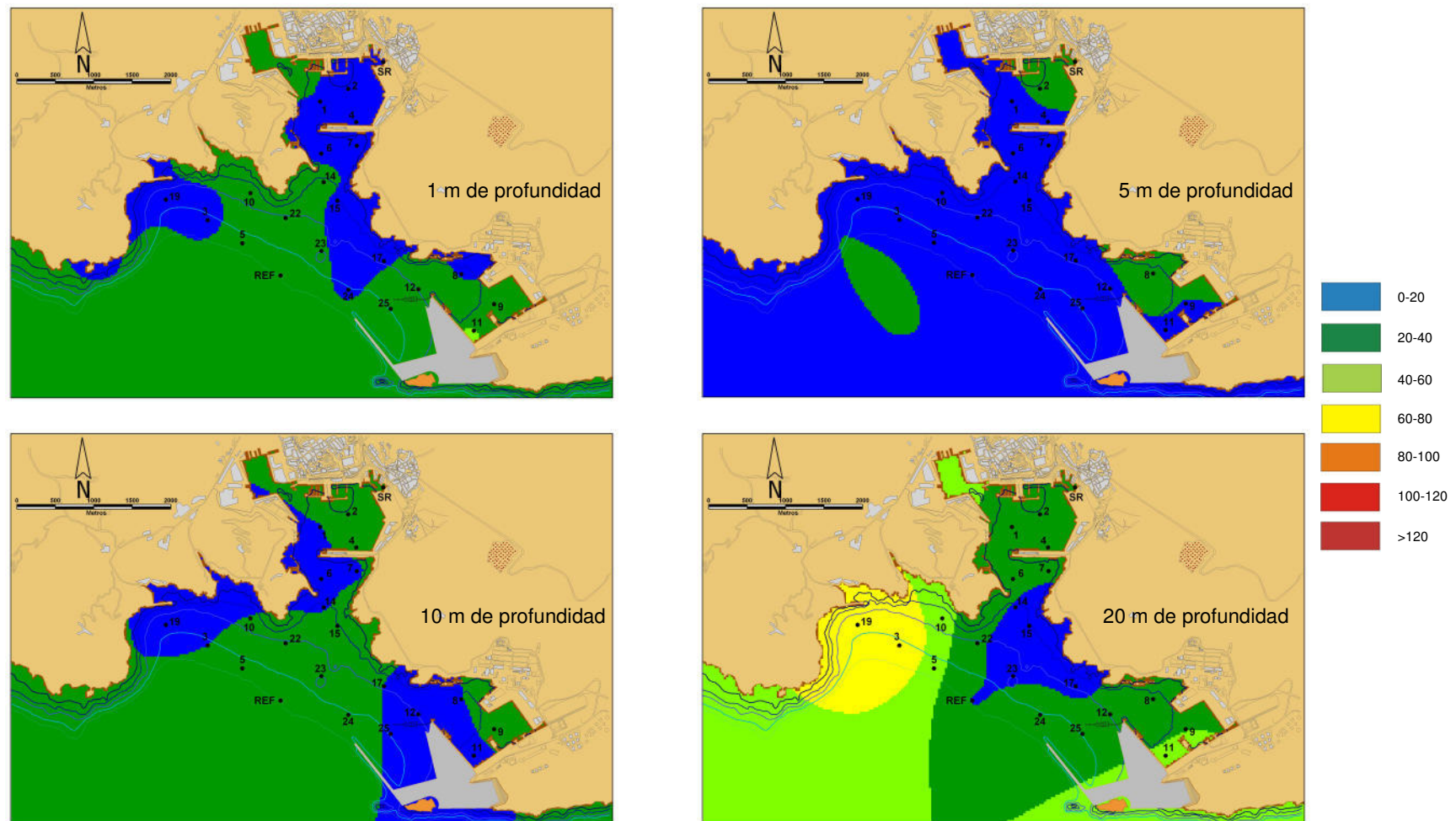


Figura 61. Mapas de distribución de cobre ($\mu\text{g/l}$) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

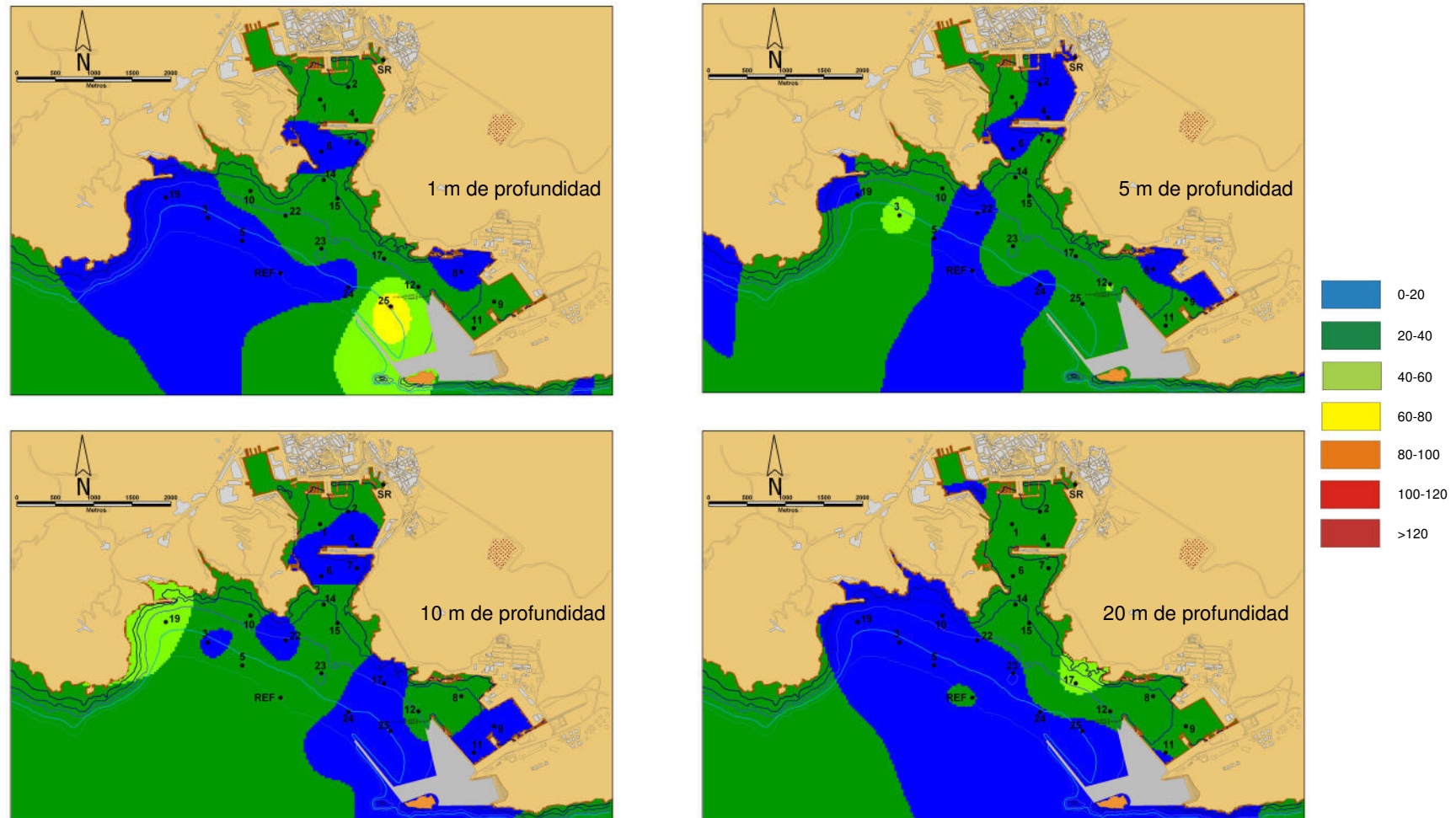


Figura 62. Mapas de distribución de cobre ($\mu\text{g/l}$) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

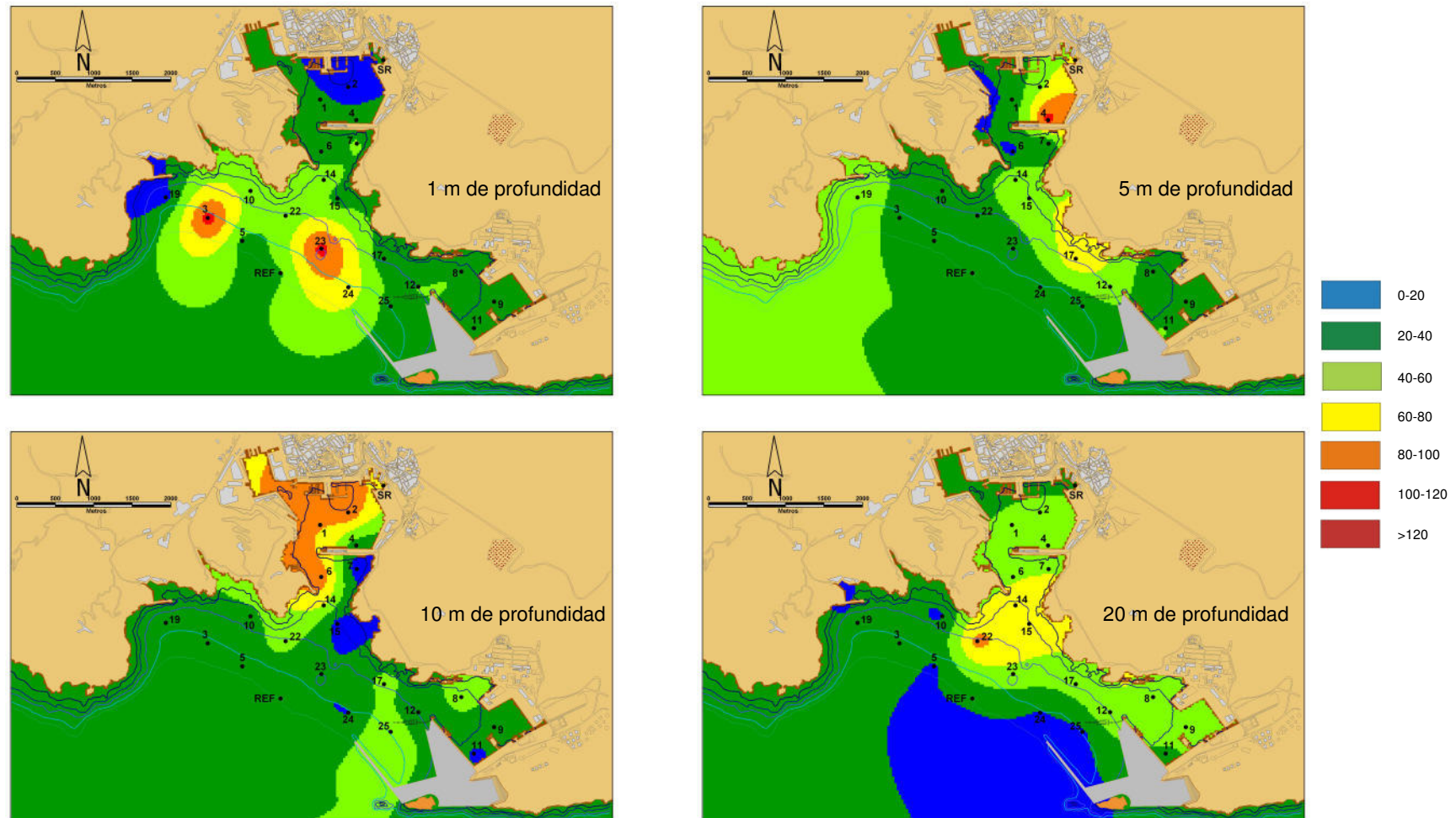


Figura 63. Mapas de distribución de cobre (µg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

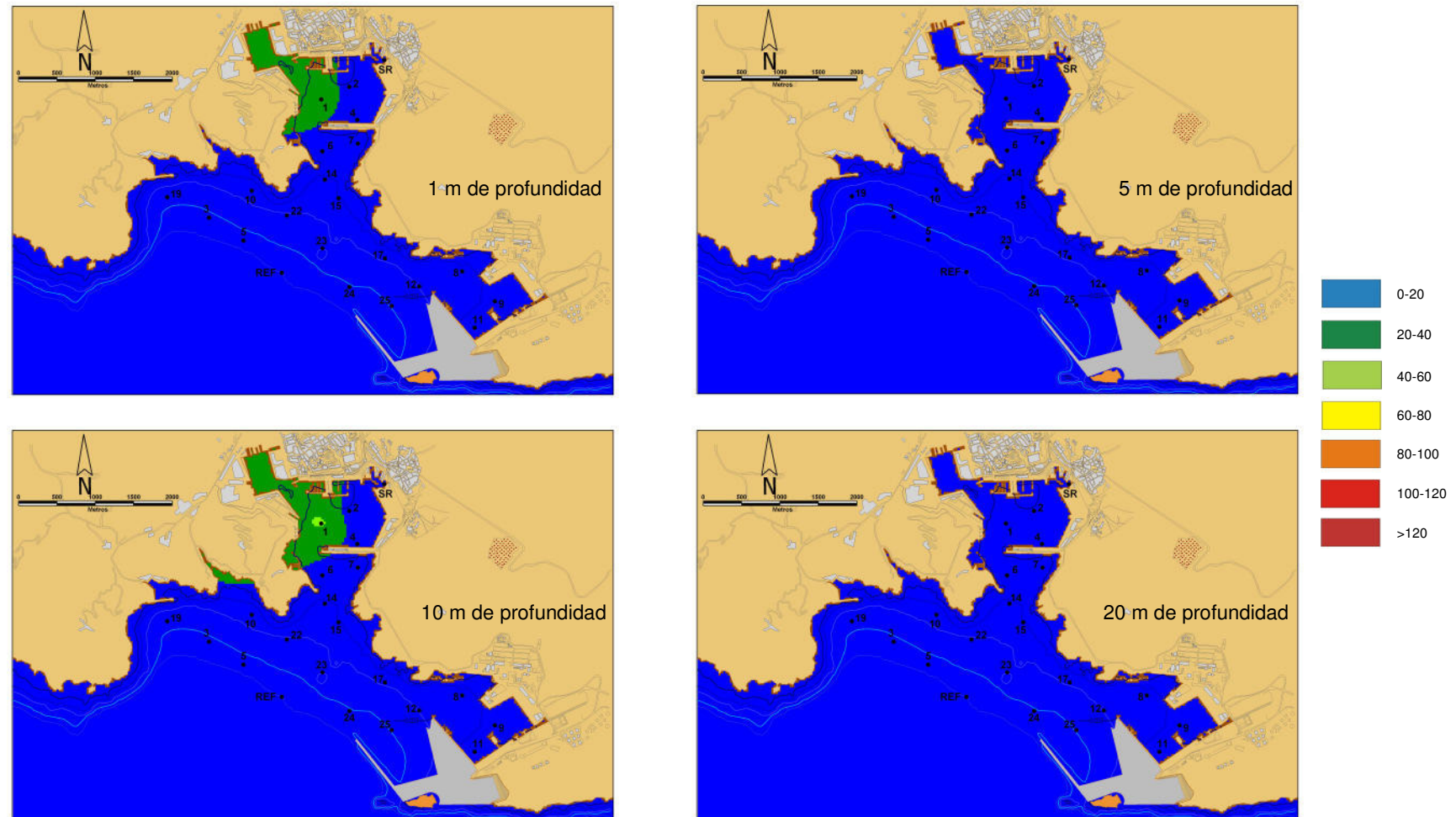


Figura 64. Mapas de distribución de cobre ($\mu\text{g/l}$) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

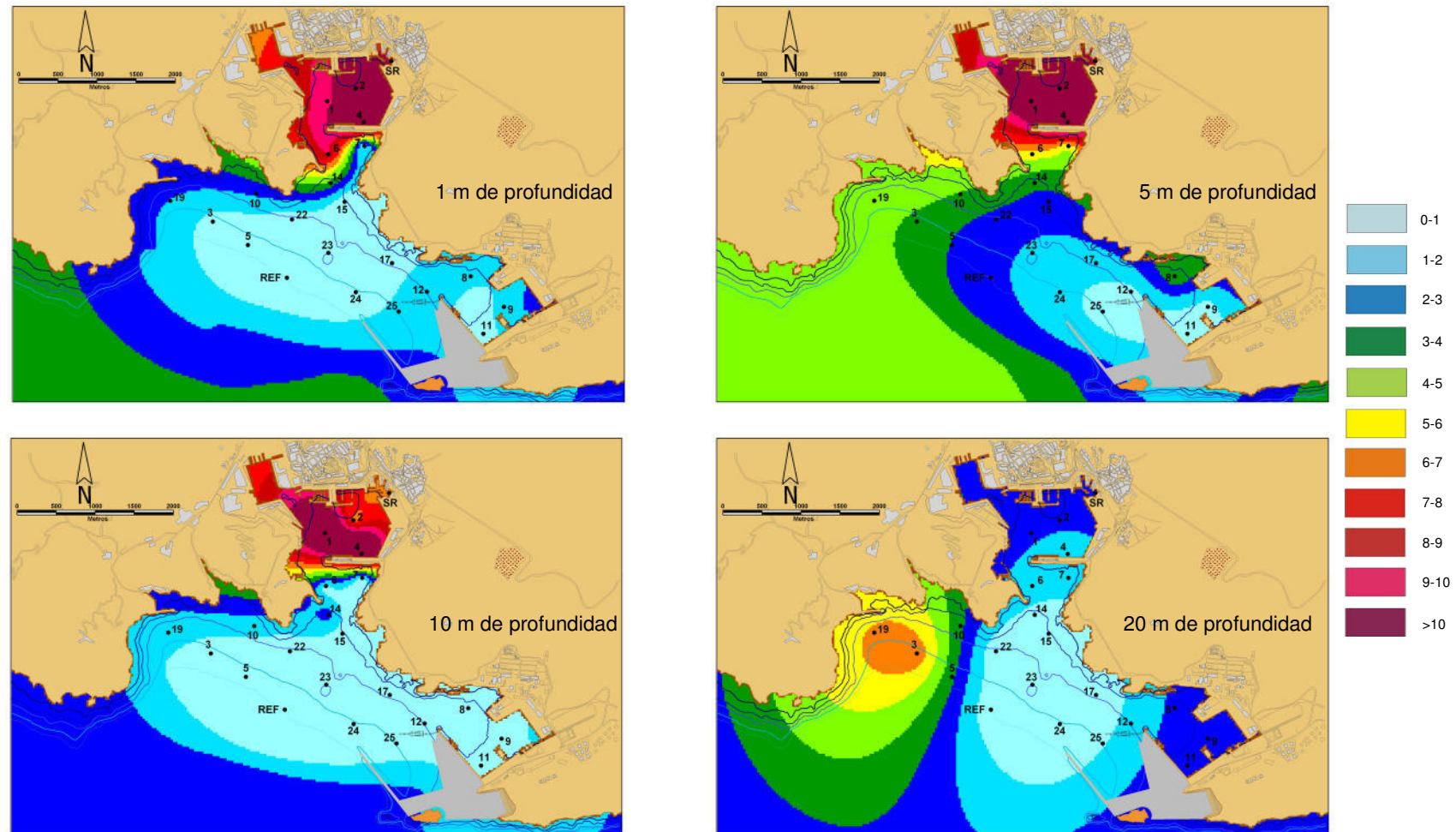


Figura 65. Mapas de distribución de cadmio ($\mu\text{g/l}$) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

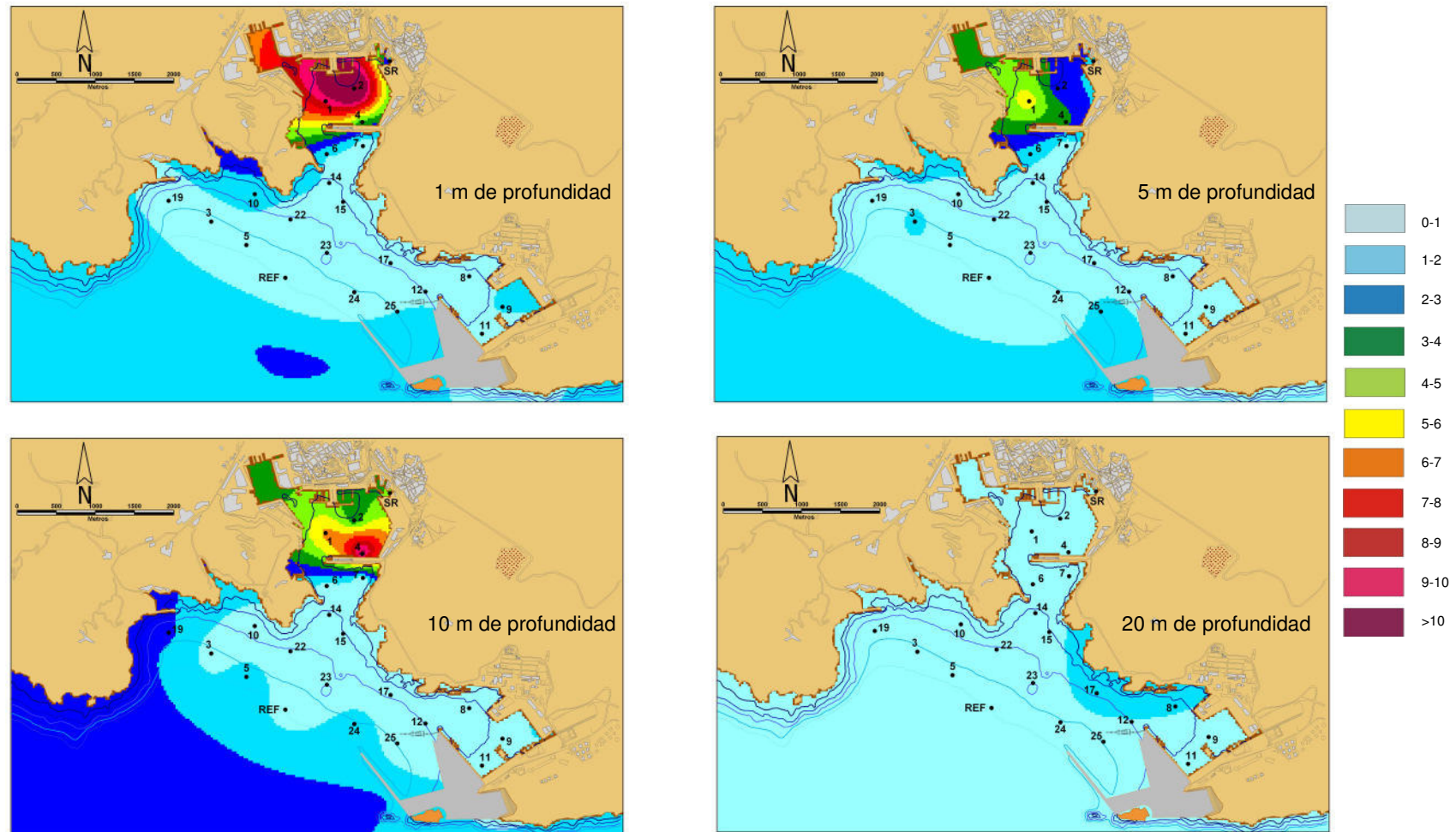


Figura 66. Mapas de distribución de cadmio (µg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

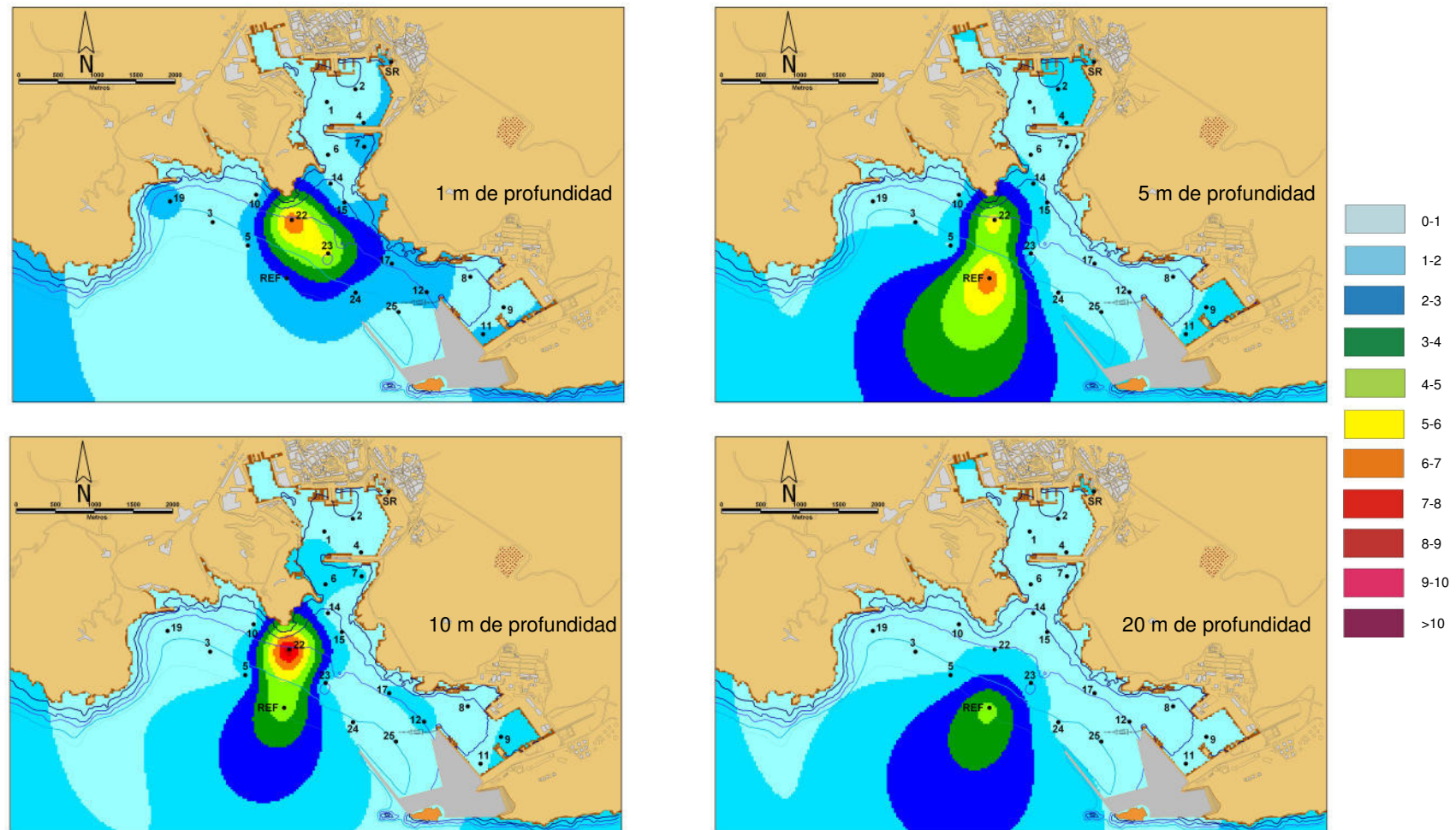


Figura 67. Mapas de distribución de cadmio ($\mu\text{g/l}$) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

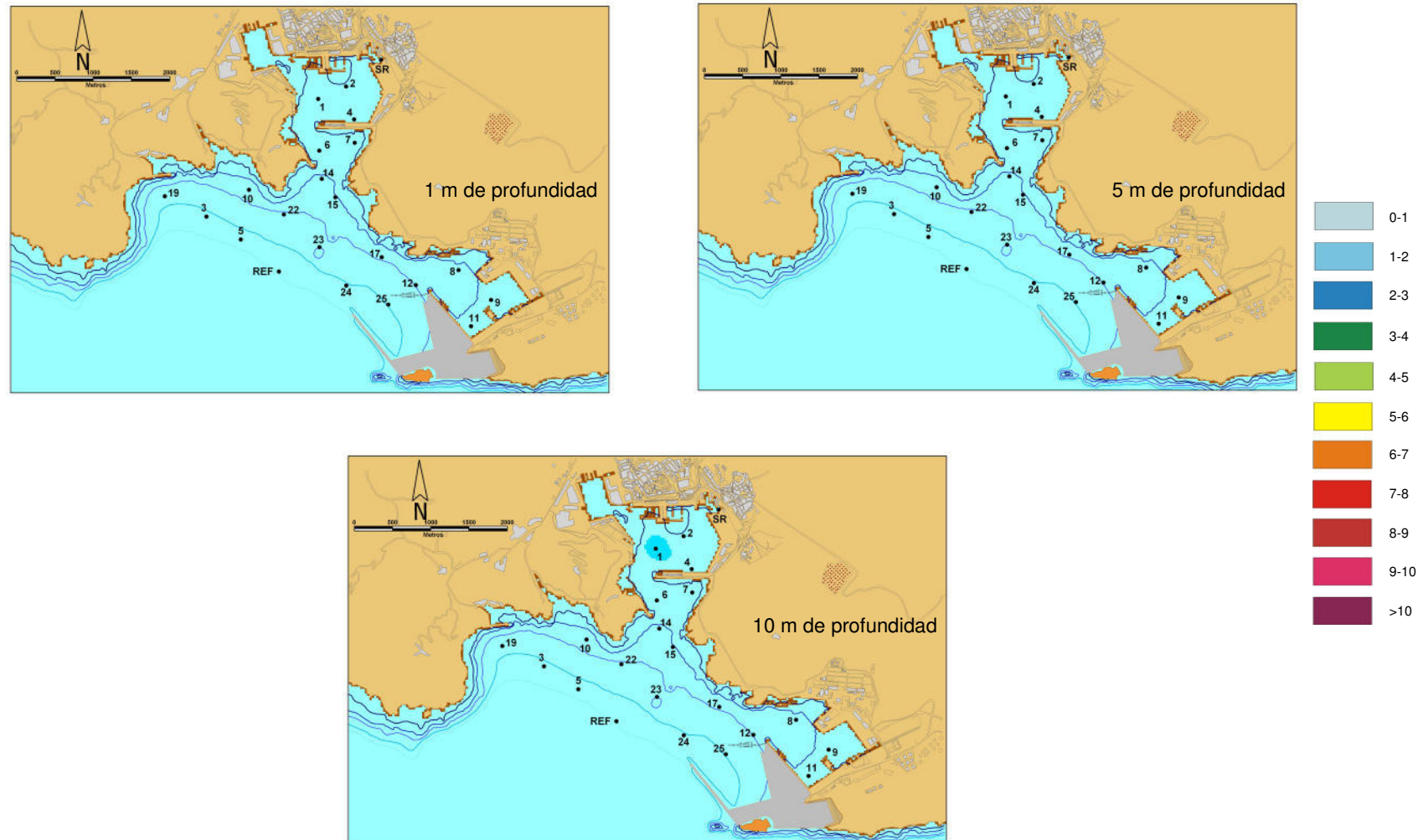


Figura 68. Mapas de distribución de cadmio ($\mu\text{g/l}$) para el 4º muestreo a 1, 5 y 10 m de profundidad

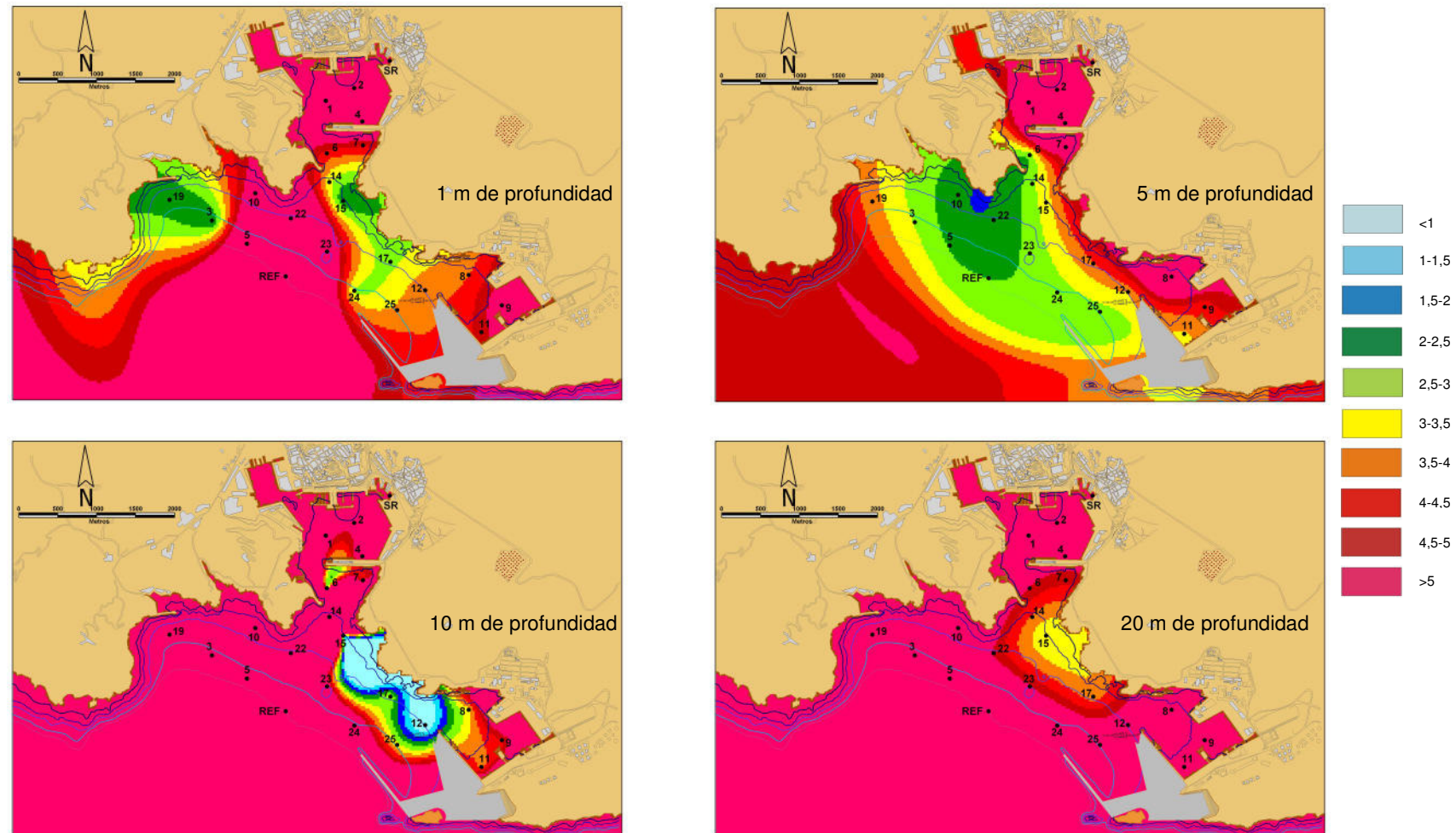


Figura 69. Mapas de distribución de plomo ($\mu\text{g/l}$) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

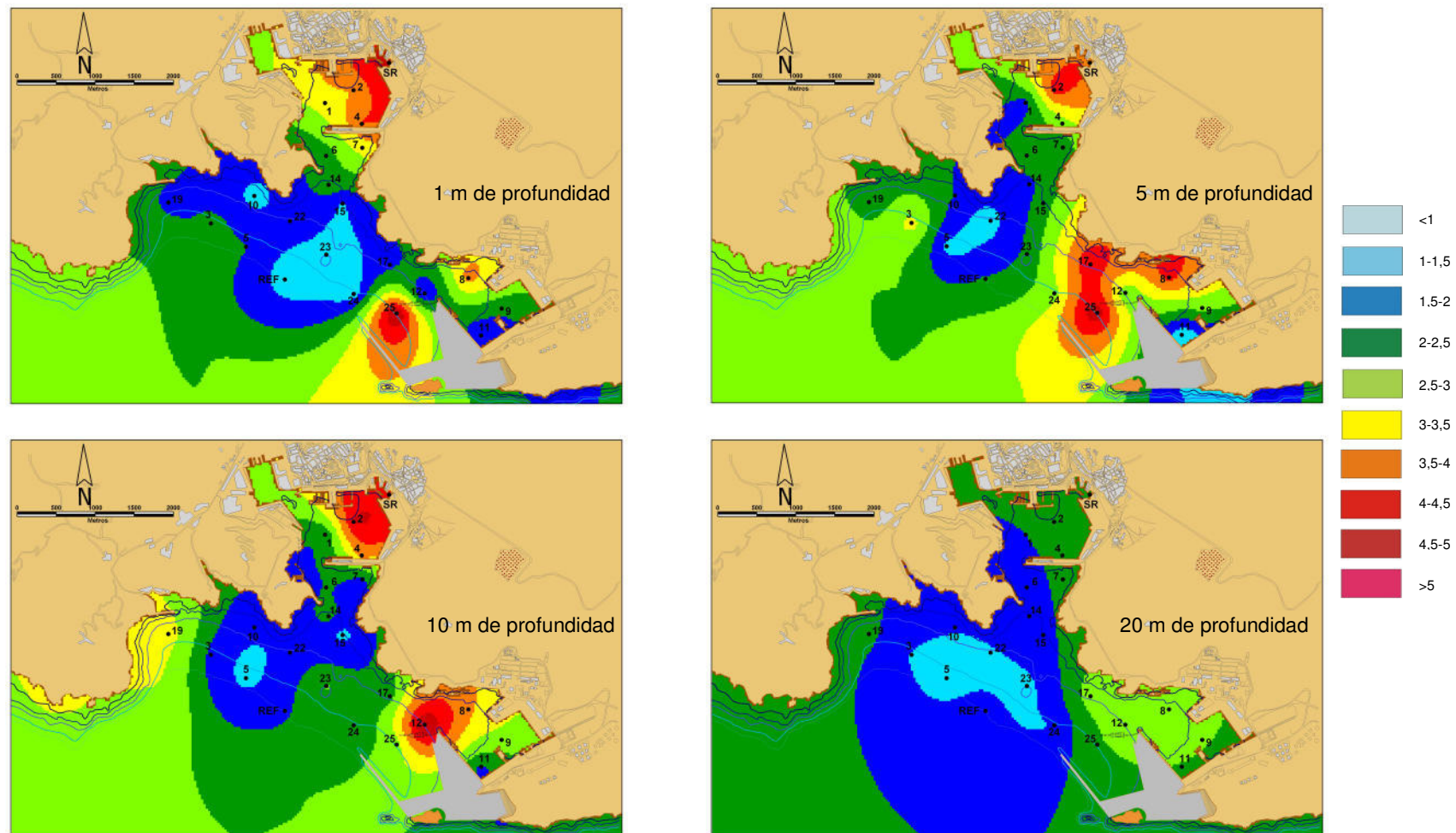


Figura 70. Mapas de distribución de plomo ($\mu\text{g/l}$) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

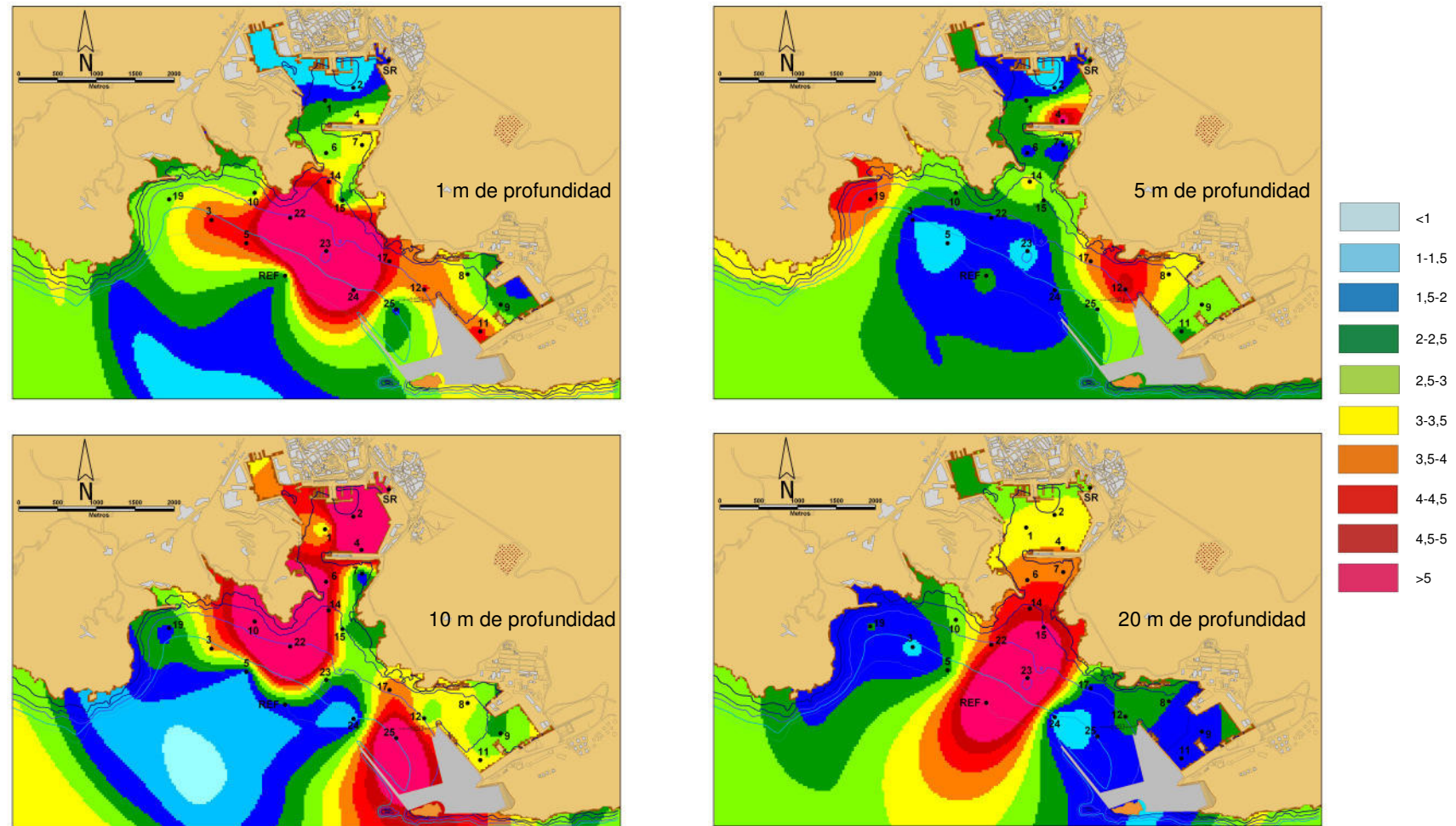


Figura 71. Mapas de distribución de plomo ($\mu\text{g/l}$) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

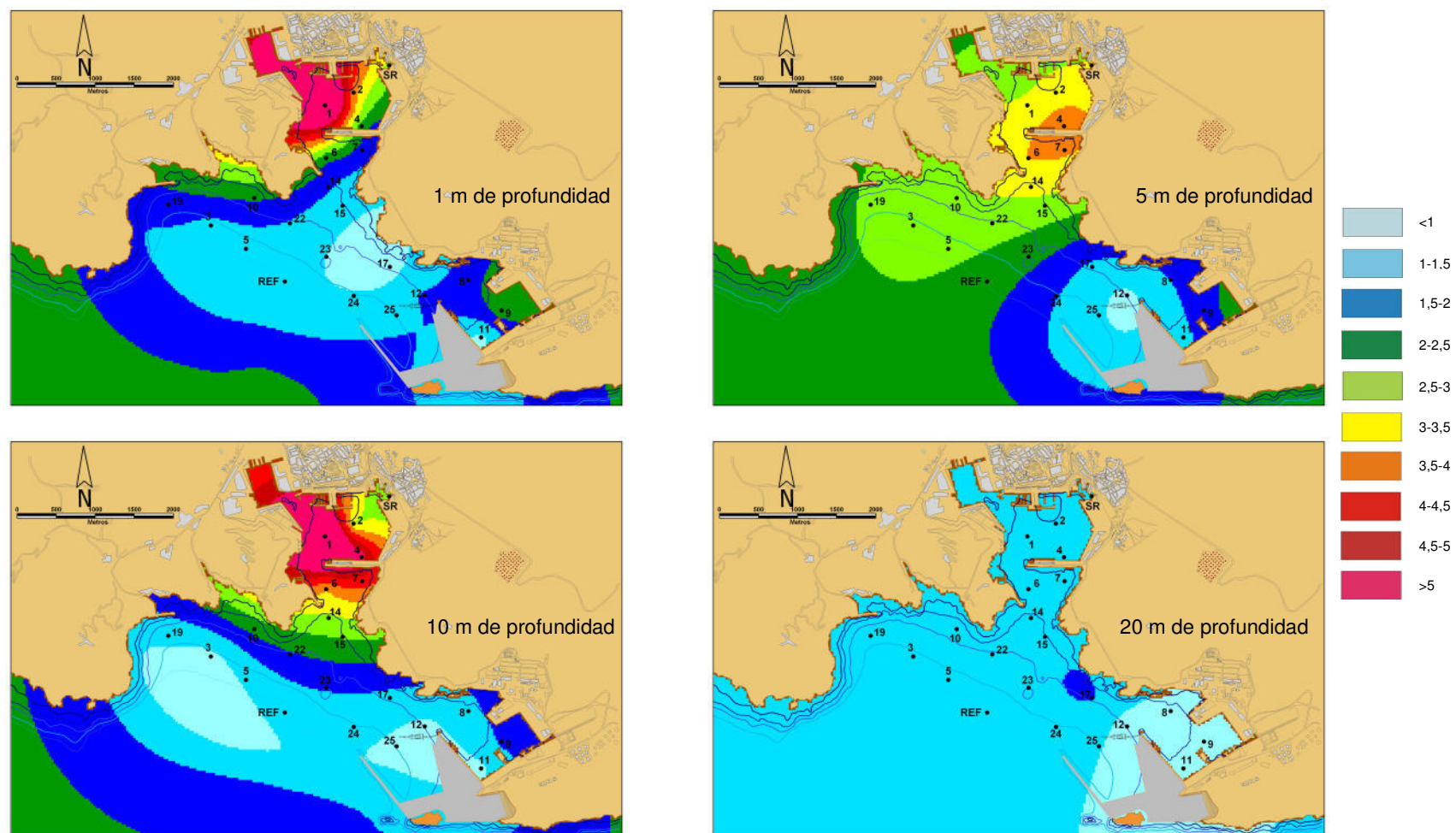


Figura 72. Mapas de distribución de plomo ($\mu\text{g/l}$) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

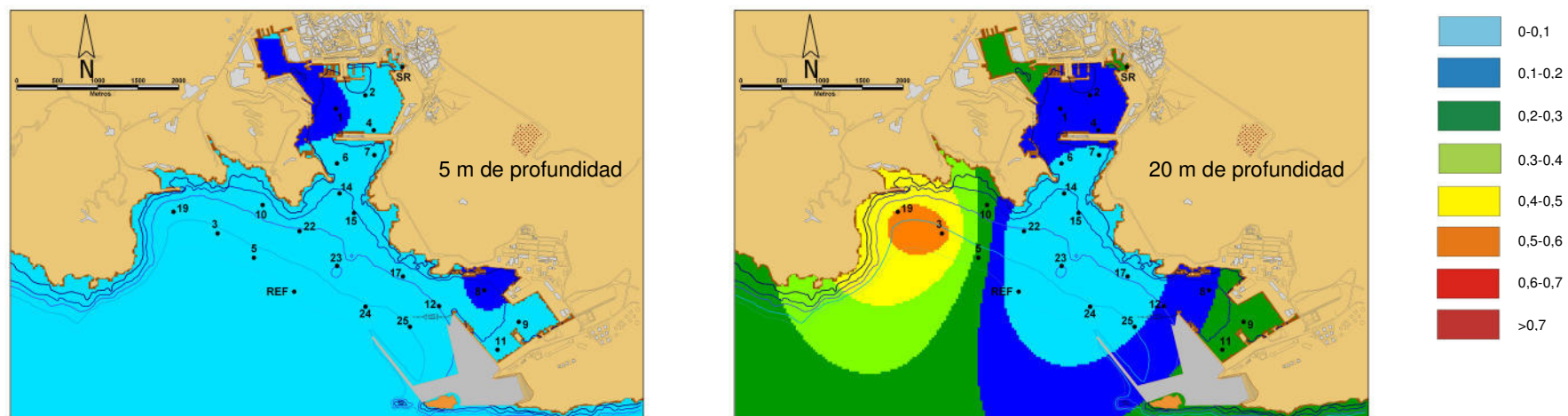


Figura 73. Mapas de distribución de fosfatos (mg/l) para el 1º muestreo a 5 y 20 m de profundidad

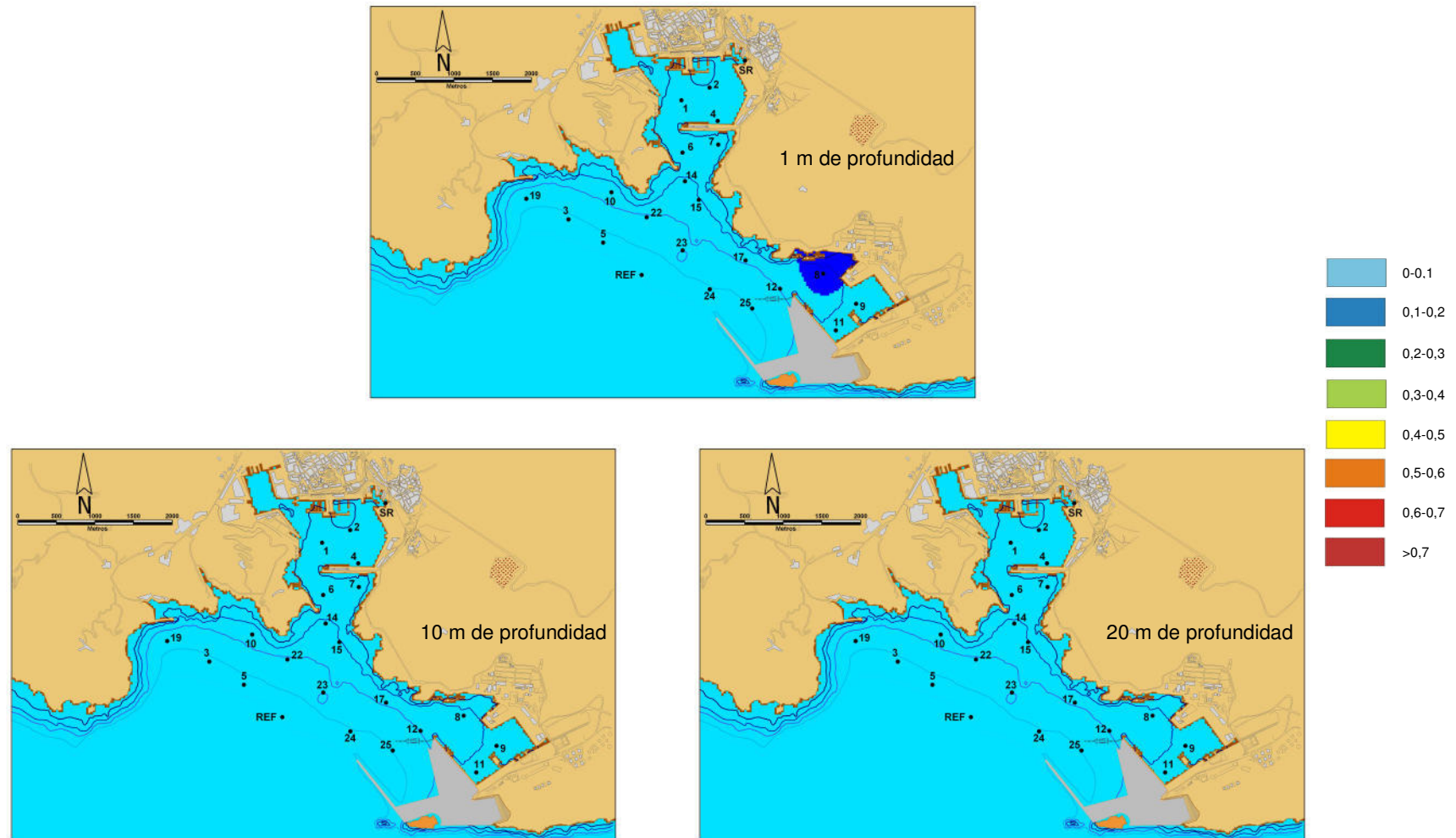


Figura 74. Mapas de distribución de fosfatos (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 10 y 20 m de profundidad



Figura 75. Mapas de distribución de fosfatos (mg/l) para el 3º muestreo a 5 y 20 m de profundidad

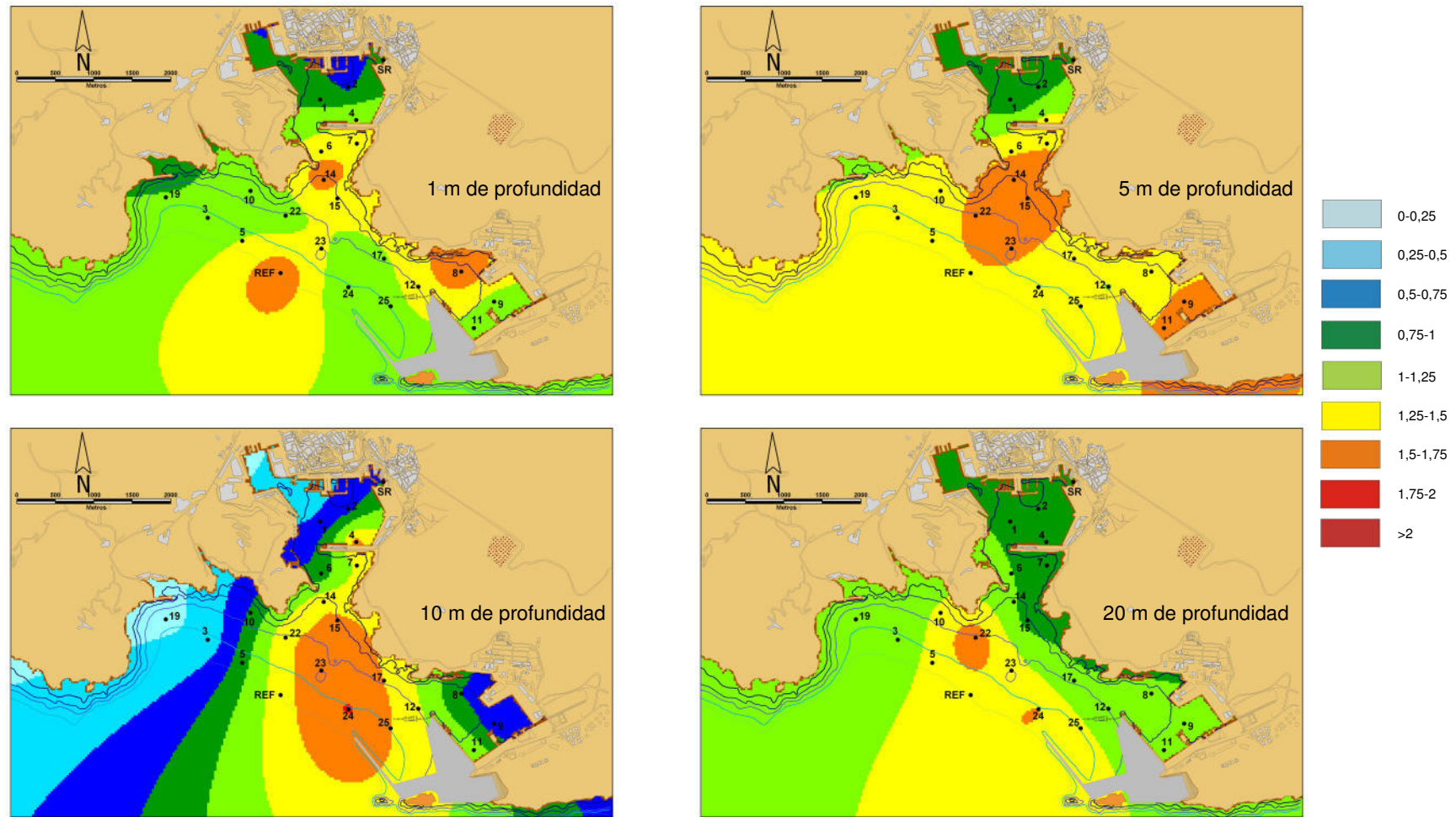


Figura 76. Mapas de distribución de amonio (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

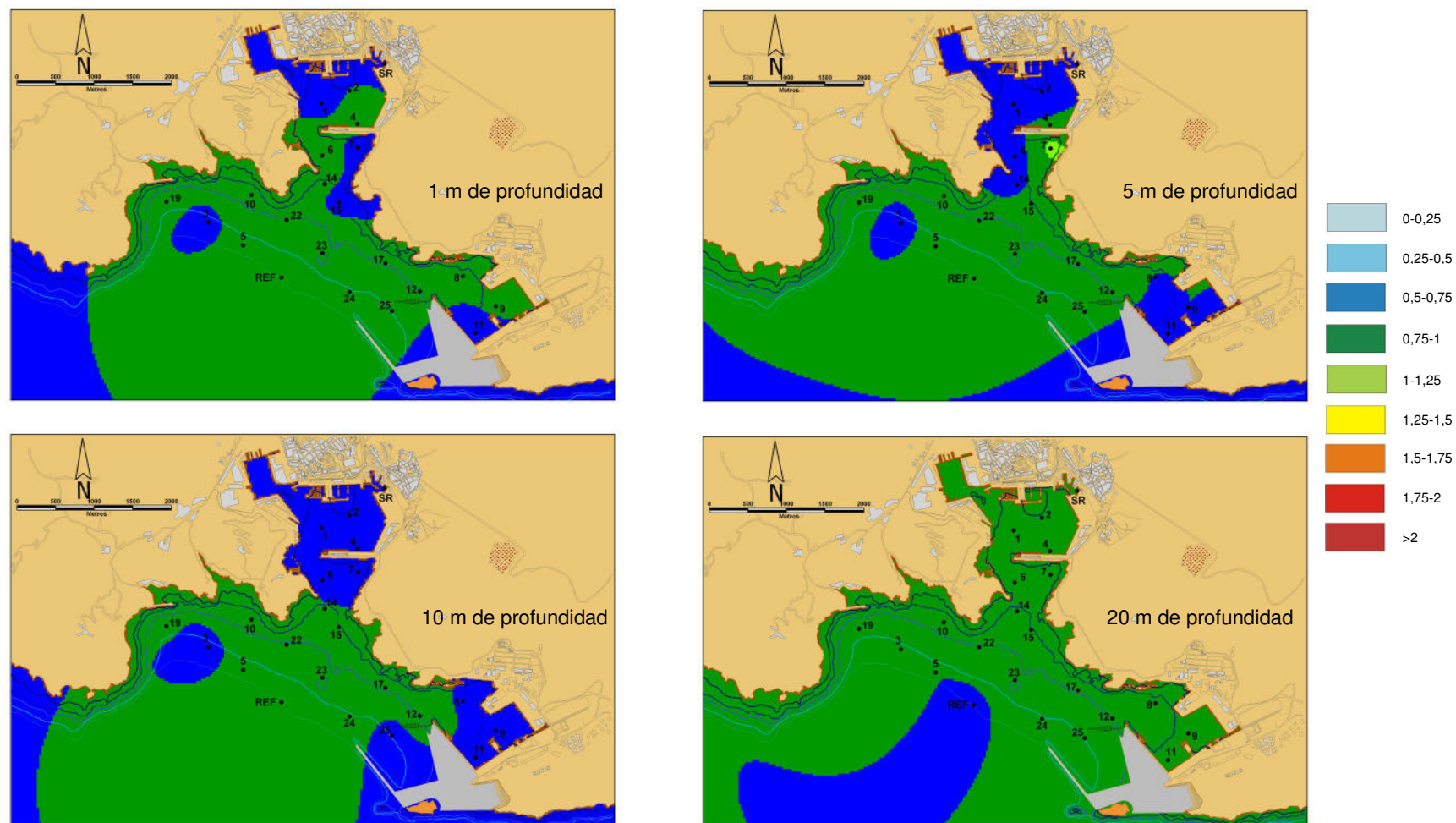


Figura 77. Mapas de distribución de amonio (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

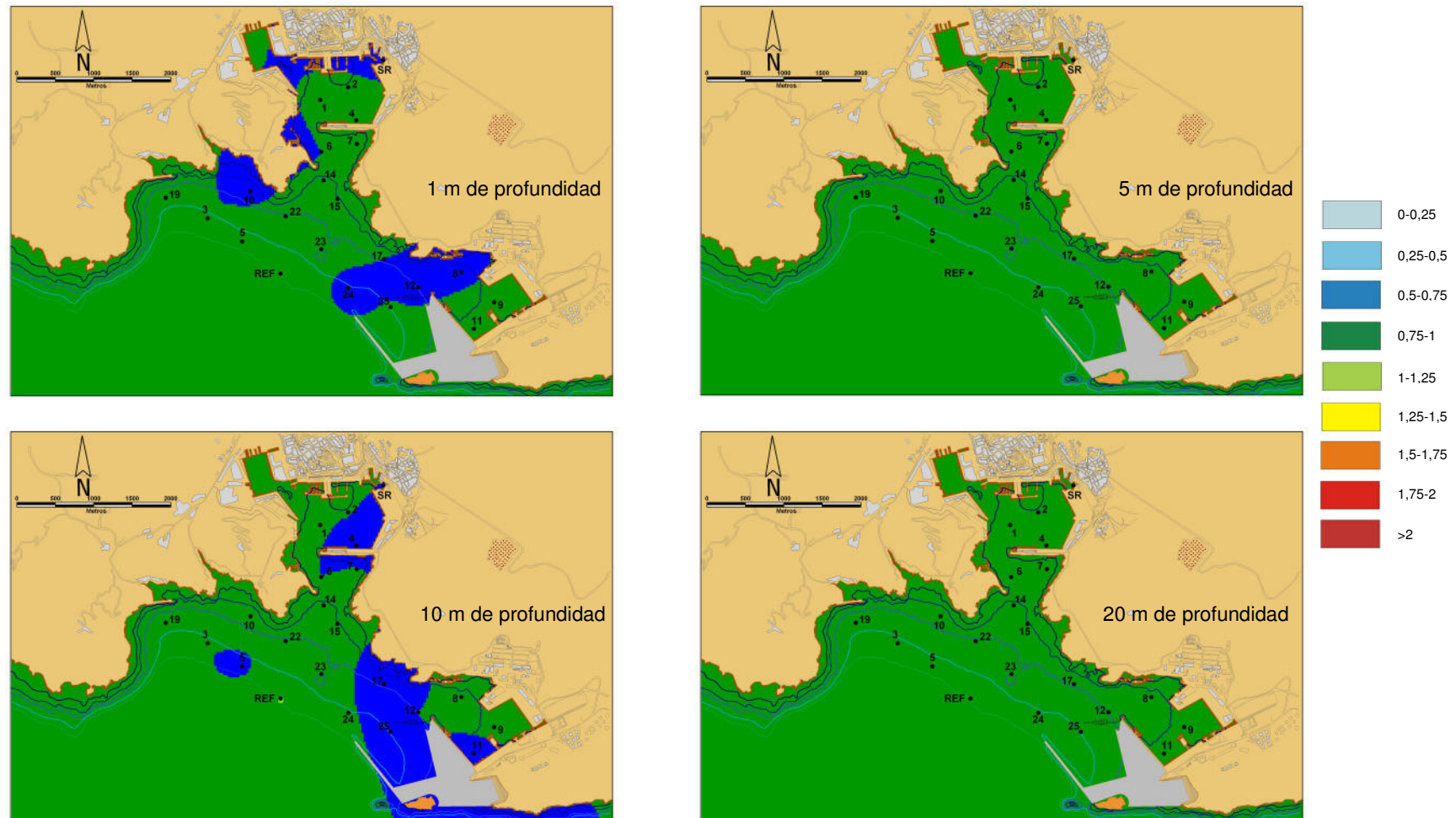


Figura 78. Mapas de distribución de amonio (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

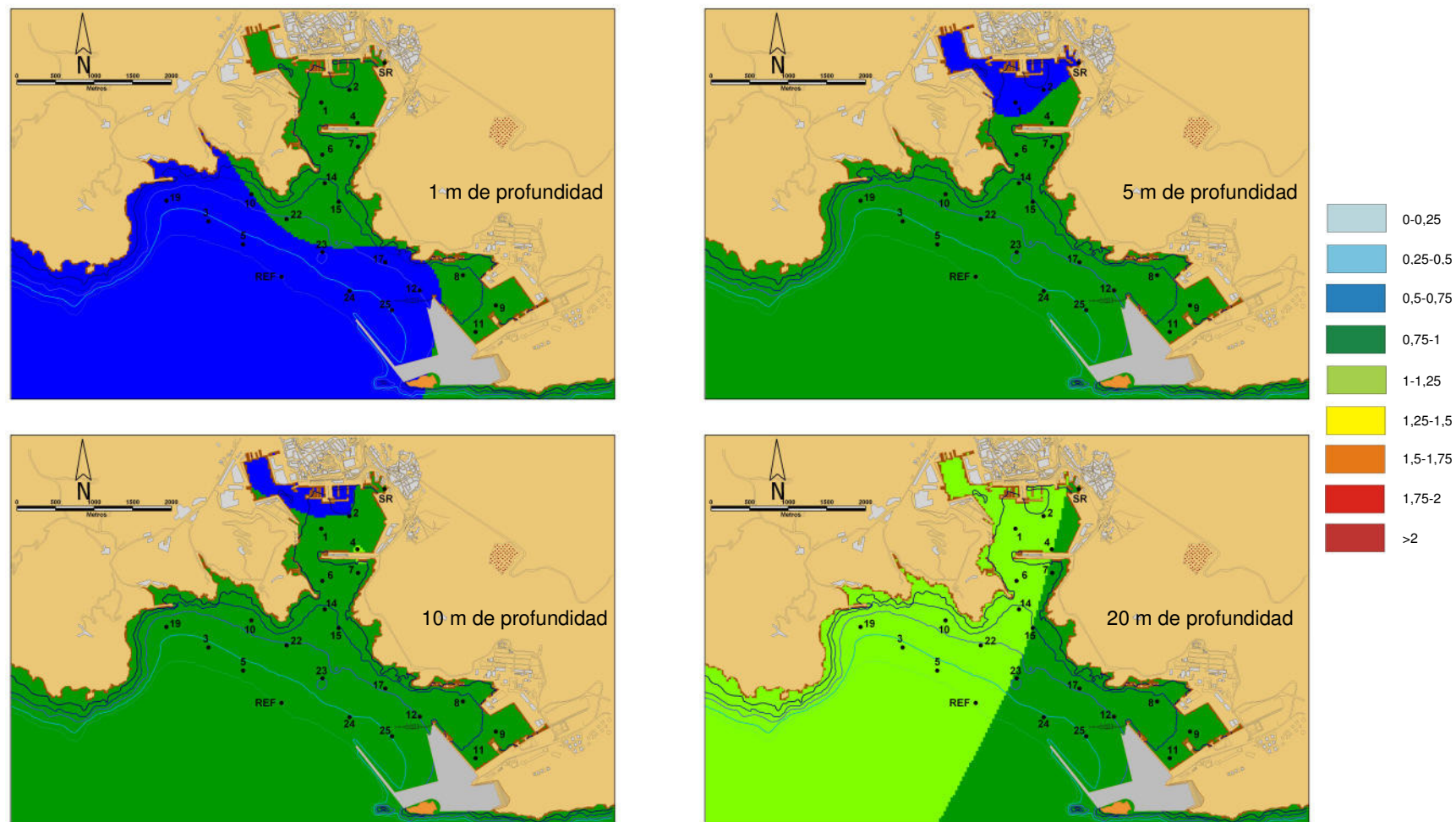


Figura 79. Mapas de distribución de amonio (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

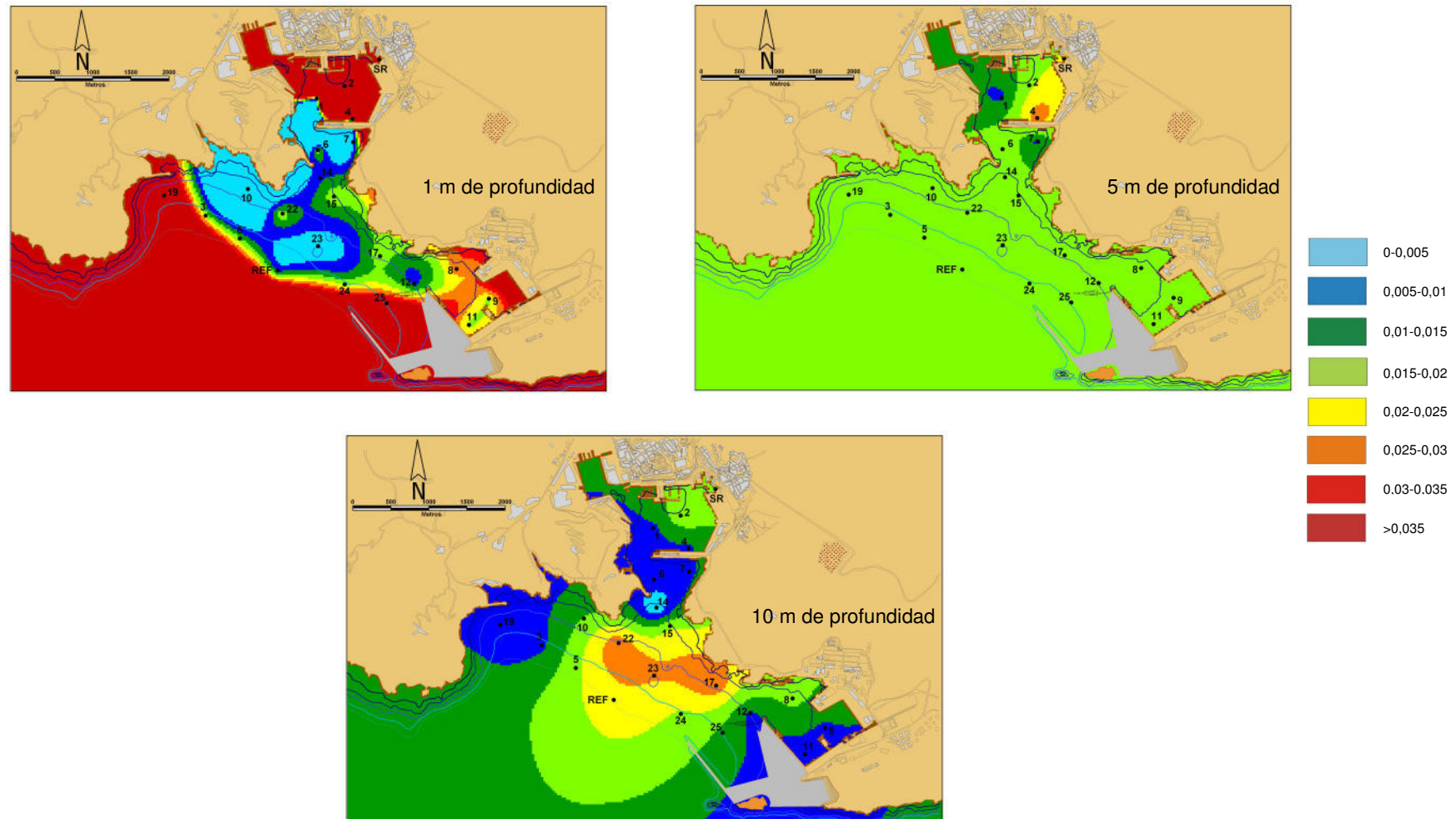


Figura 80. Mapas de distribución de nitritos (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5 y 10 m de profundidad

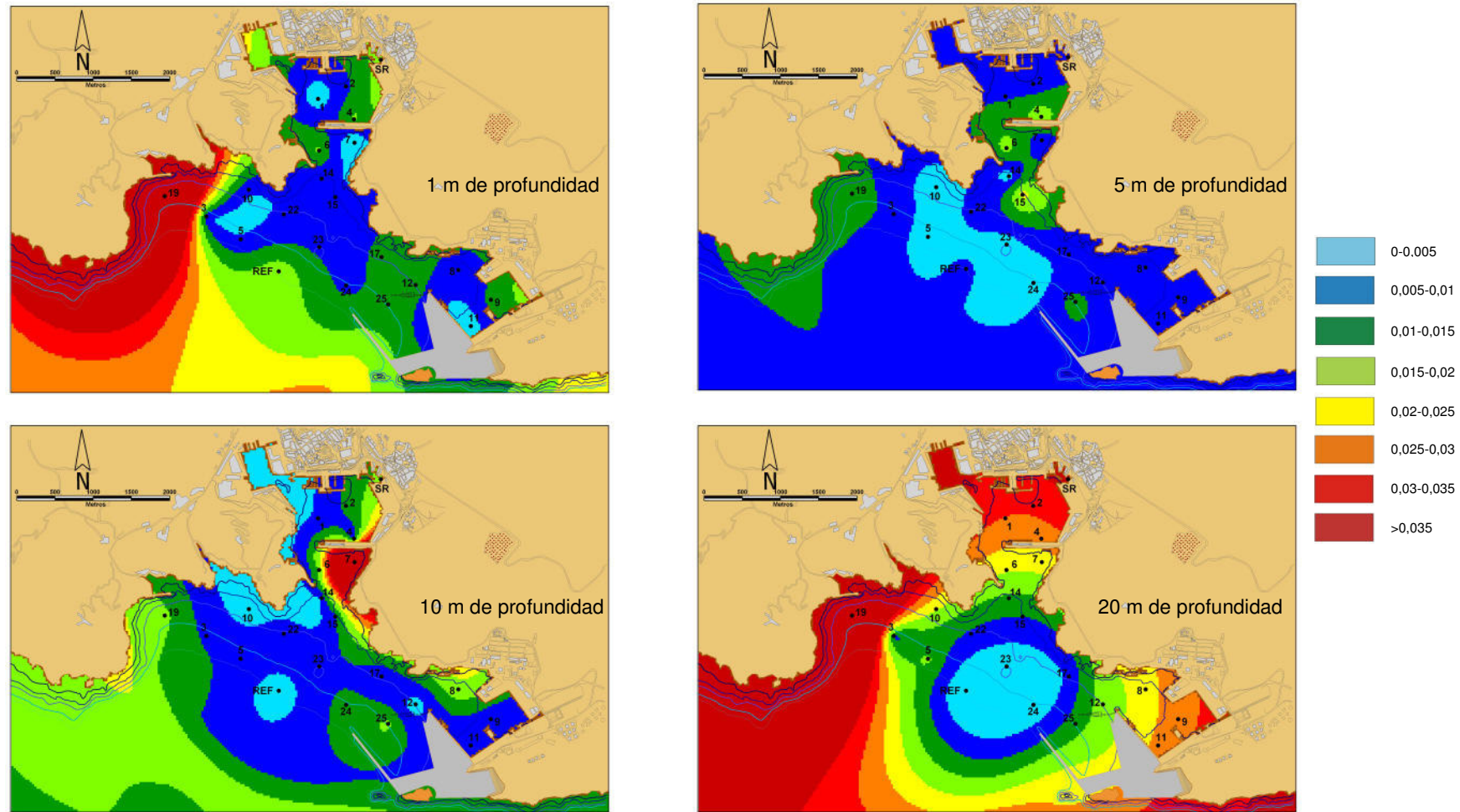


Figura 81. Mapas de distribución de nitritos (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

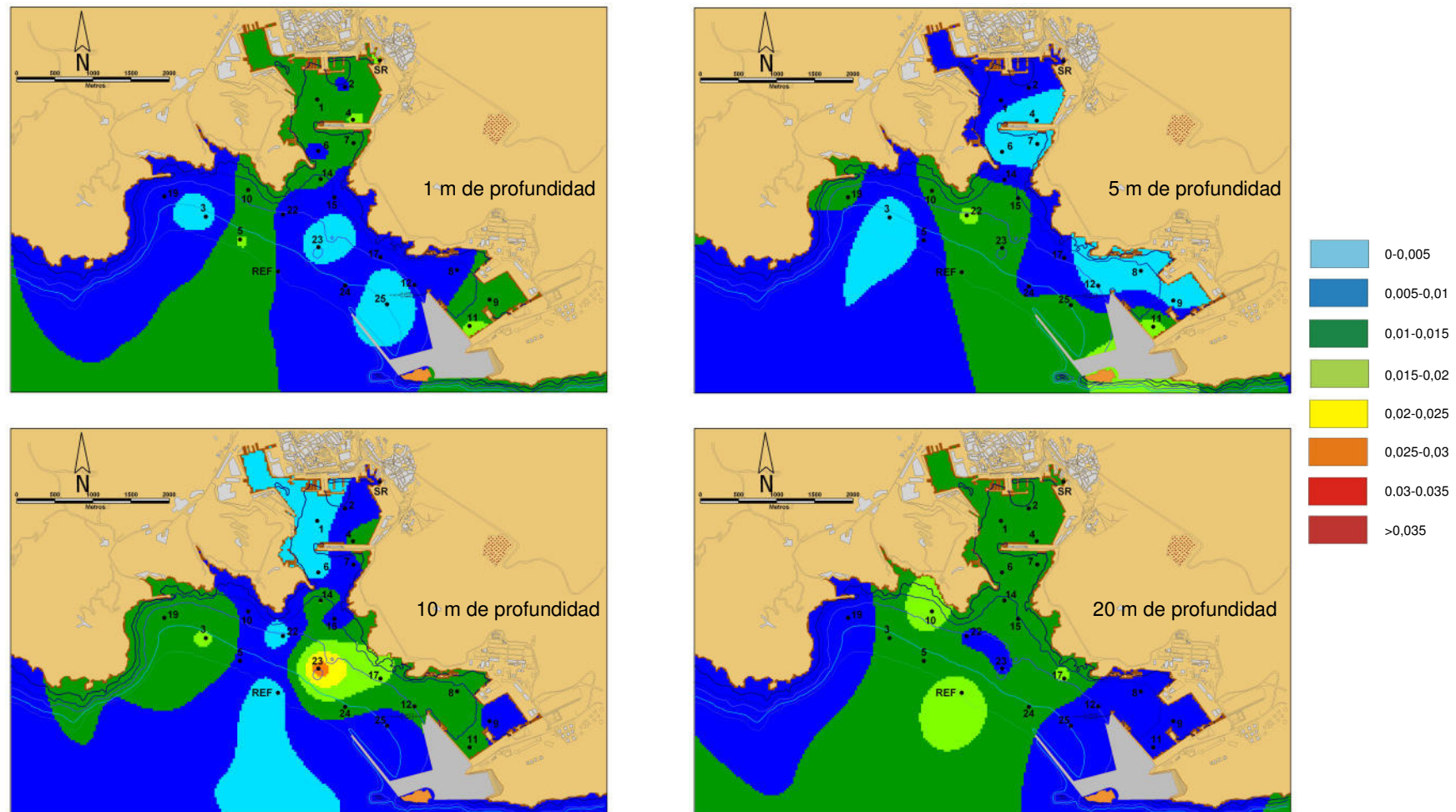


Figura 82. Mapas de distribución de nitritos (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

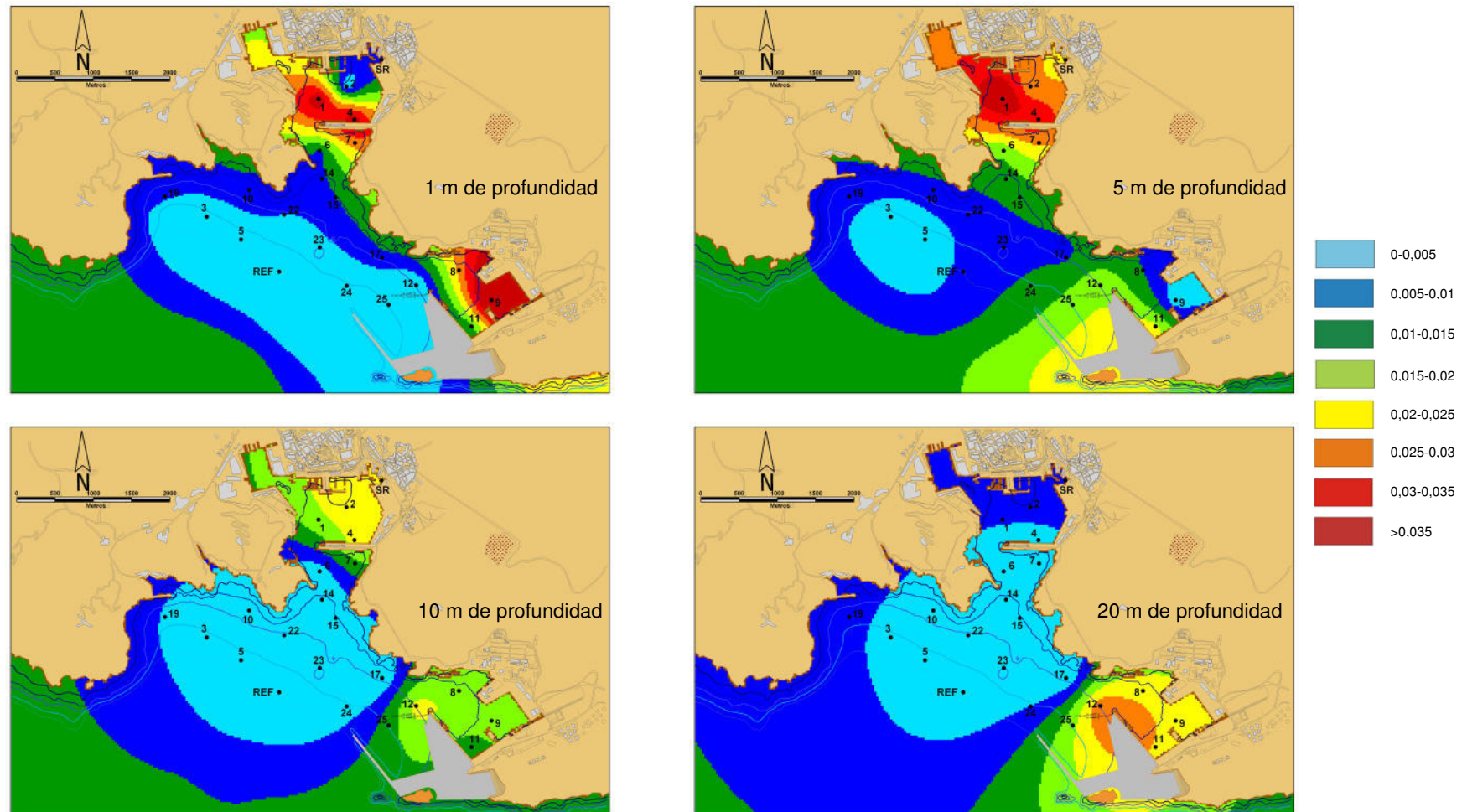


Figura 83. Mapas de distribución de nitritos (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

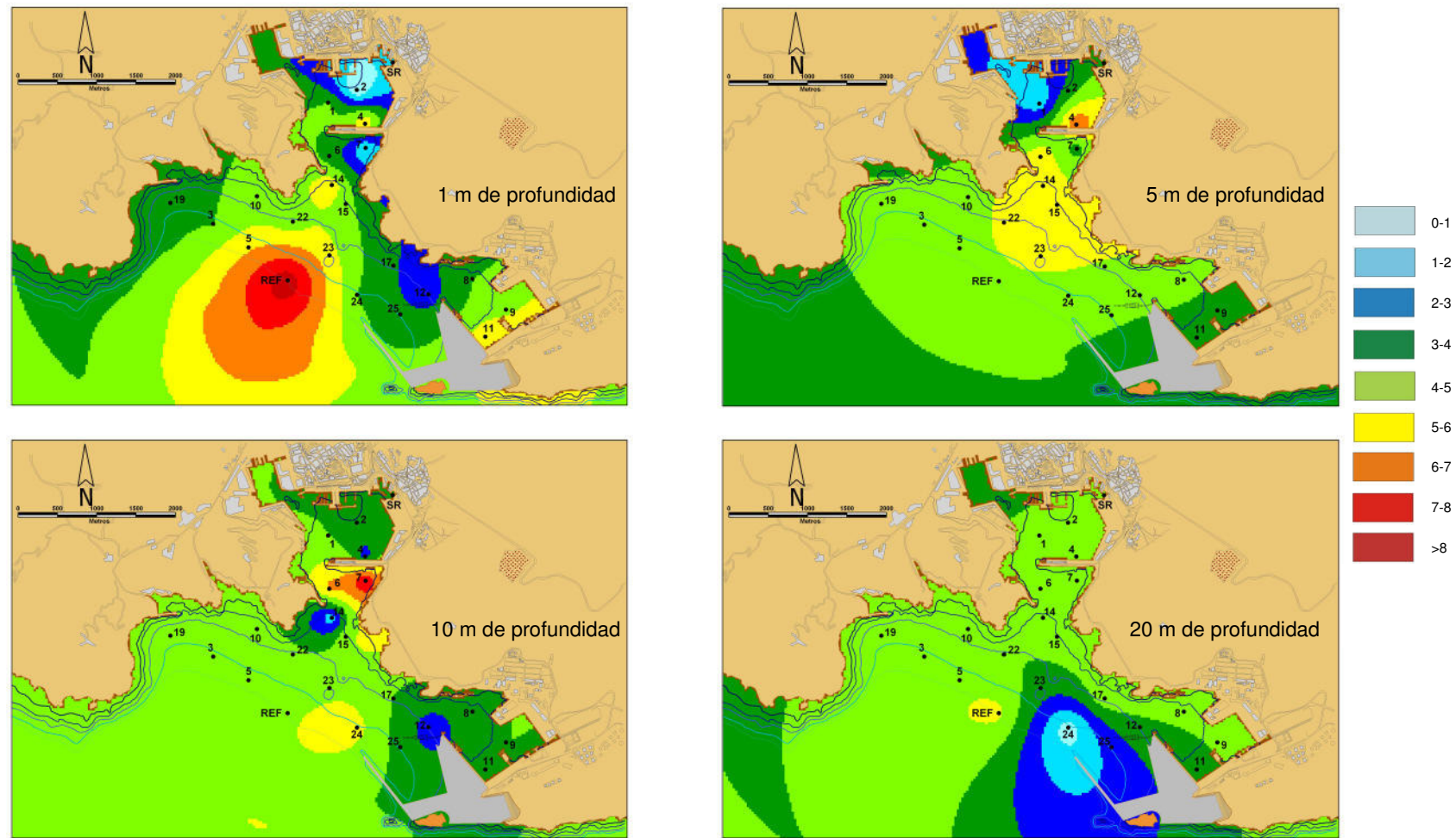


Figura 84. Mapas de distribución de nitratos (mg/l) para el 1º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

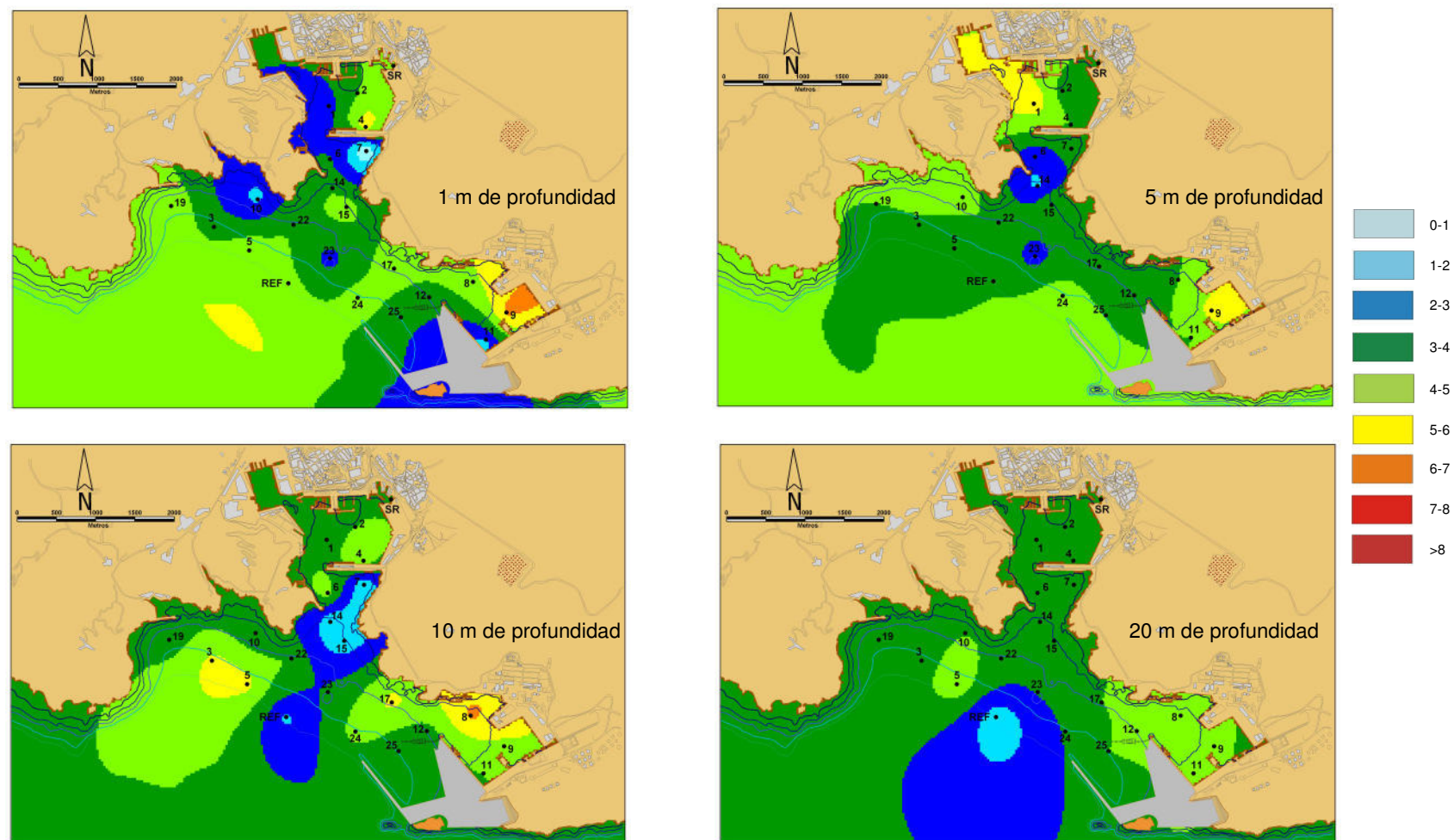


Figura 85. Mapas de distribución de nitratos (mg/l) para el 2º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

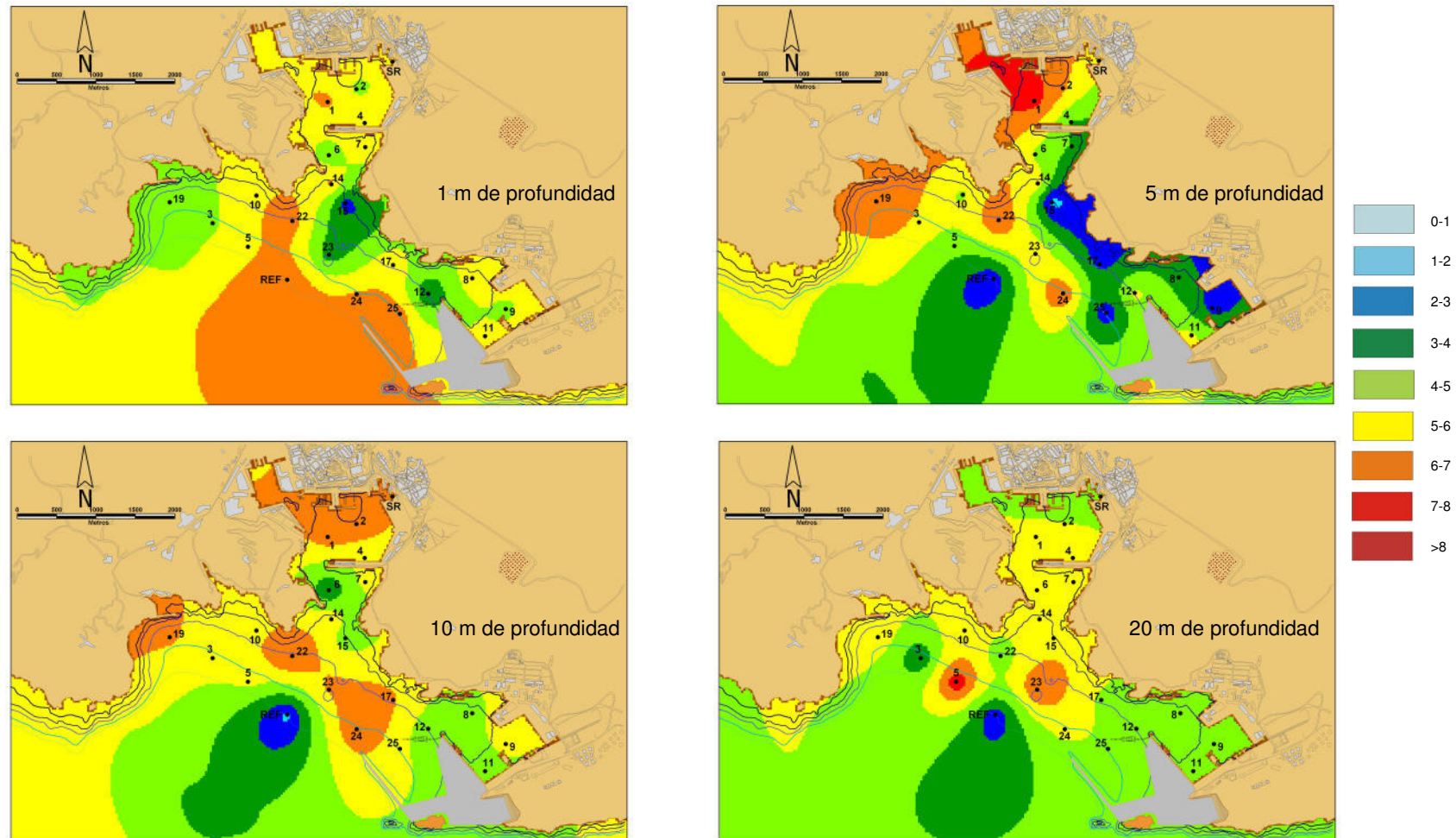


Figura 86. Mapas de distribución de nitratos (mg/l) para el 3º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad

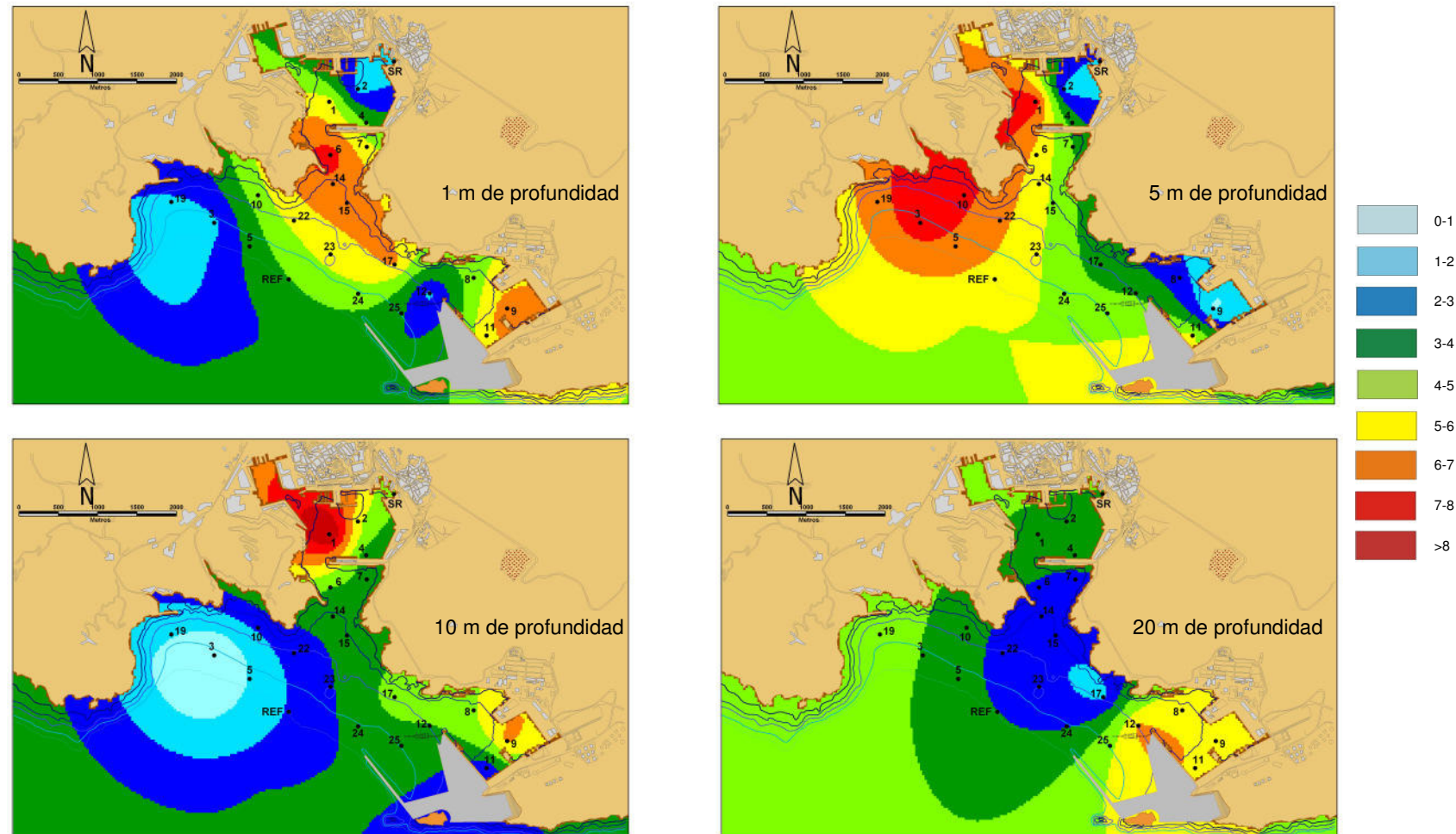


Figura 87. Mapas de distribución de nitratos (mg/l) para el 4º muestreo a 1, 5, 10 y 20 m de profundidad